

4.

Resultados do Inventário do Ciclo de Vida

Neste estudo se desenvolveu uma metodologia de cálculo para avaliar o uso de energia e emissões de GEE, que pode ser utilizada facilmente para gerar automaticamente estes resultados a partir de novos dados de entrada para permitir a avaliação das usinas e possibilitar processos mais limpos.

Elaborou-se um gráfico dinâmico (Figura 15) mostrando um diagrama de processo com todas as etapas estudadas do ciclo de vida do etanol, onde são visualizados os resultados da análise e se podem identificar os pontos críticos para que sejam melhorados e nos quais os investimentos deverão ser aplicados. Este fluxograma ajudará a avaliar o desempenho ambiental das próprias usinas em vistas à certificação ambiental.

Para a aplicação da metodologia da ACV foram usados dados da literatura e dados bibliográficos, usando informações básicas de vários autores obtendo eventualmente resultados diferentes, que serão apresentados e explicados neste capítulo. Finalmente se incluiu uma análise das incertezas dos resultados obtidos.

Os cálculos foram realizados considerando duas unidades funcionais: Uma tonelada de cana-de-açúcar, para permitir a comparação com outras biomassas utilizadas como matéria prima de biocombustível, e 1 litro de etanol. Os resultados são expressos com base em um hectare por ano, para permitir a avaliação do impacto considerando outras culturas.

No Apêndice 6 é mostrada a planilha donde são apresentados os cálculos completos. Os resultados foram divididos em três grupos. O primeiro se refere ao consumo de recursos naturais e demanda de energia; ou seja, as entradas do sistema. O segundo grupo de resultados diz respeito às saídas do sistema, tanto os produtos - no caso o etanol - como as emissões indesejáveis.

Por fim se analisa o verdadeiro impacto ambiental da produção do etanol no desflorestamento amazônico, na produção de alimentos e no zoneamento agroecológico como mecanismo regulatório aplicado ao setor sucroalcooleiro.

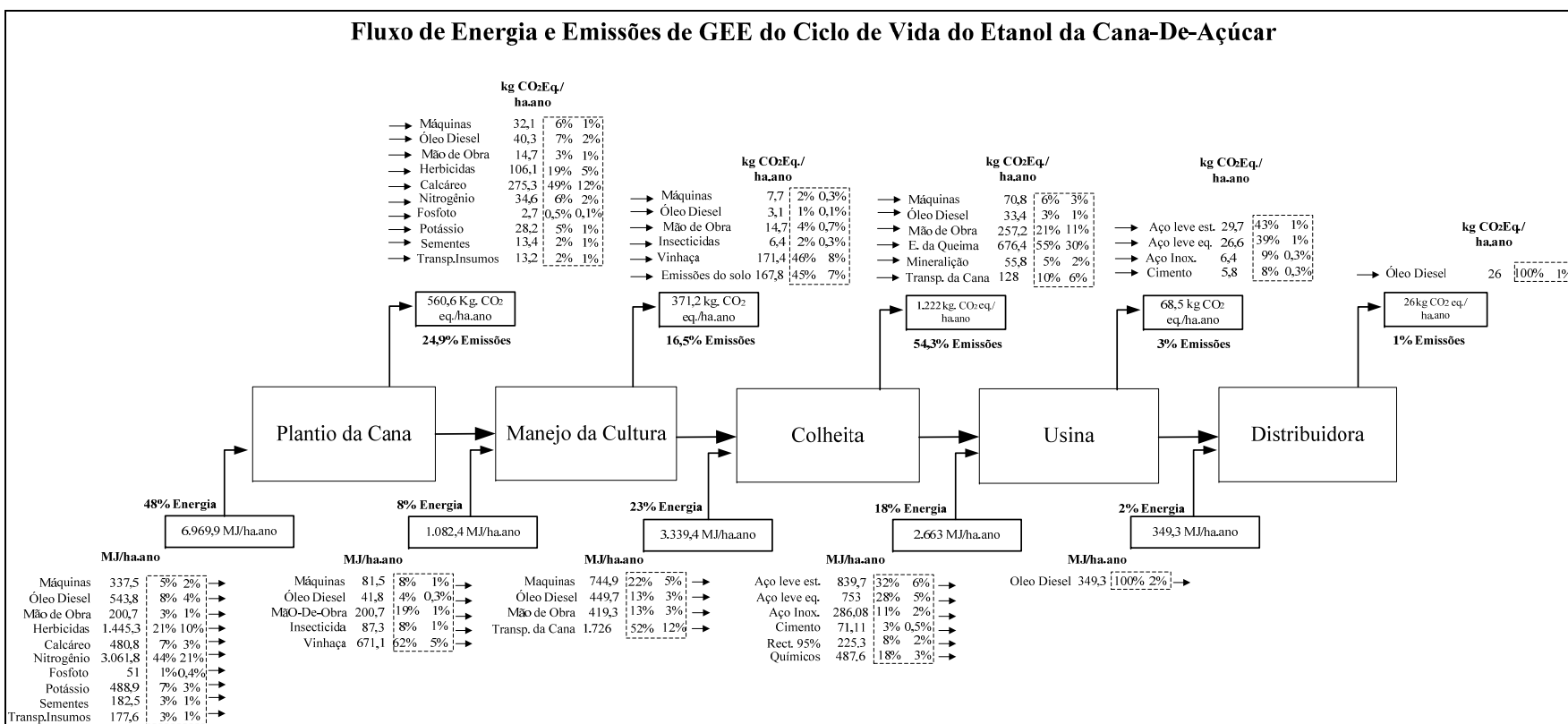


Figura 15 Fluxograma de energia e emissões de GEE do ciclo de vida do etanol.

4.1 Uso de Energia

4.1.1 Consumo de recursos renováveis (água).

O consumo de água necessário para a produção de 1 litro de etanol é de 21 litros segundo Pimentel e Patzek (2007), devido principalmente à etapa industrial na usina que precisa de grandes volumes para operar, em especial nas etapas de lavagem da cana e a geração de vapor.

O relatório “Perfil do Setor do Açúcar e do Alcool no Brasil”, MAPA (2010), indica que na Região Centro-Sul para se produzir um litro de etanol hidratado são necessários 12 kg de cana de açúcar, e para produzir 1 litro de etanol anidro são necessários 12,5 kg de cana. Para o presente estudo utilizou-se a média de 12,25 kg de cana, para efeitos de cálculo. O consumo de água na etapa agrícola se deve somente à fertirrigação.

Diferentes consumos de água por tonelada esmagada são encontrados na literatura. Segundo um estudo do CTC (2008), o consumo de água pelas usinas do Centro-Sul tem reduzindo continuamente nos últimos anos, passando de um consumo médio de água de 5,6 metros cúbicos por tonelada de cana-de-açúcar esmagada em 1990 para 5 metros cúbicos por tonelada em 1997, e para 1,8 metros cúbicos de água por tonelada em 2005. No presente trabalho foi calculado um consumo de 1,71 metros cúbicos por tonelada de cana esmagada. (Ver Tabela 15).

Tabela 15. Consumo de água. Fonte: elaboração própria.

Consumo de água			Fonte
Produção etanol	5.383	l etanol/ha.ano	IBGE (2010a)
Consumo de água por litro de etanol	21	l água/l etanol	Pimentel e Patzek (2007)
Consumo de água	113.042,90	l água/ha.ano	Apêndice 4
Rendimento da cana	65,94	TC/ha.ano	IBGE (2010a)
Consumo de água por Tonelada de cana	1.714,29	l água/TC processada	Apêndice 4
Uso de água	1,71	m ³ /TC processada	Apêndice 4

A diminuição do consumo pelas usinas pôde ser alcançada pela recuperação e reutilização de água através da adoção de circuitos fechados e com a diminuição

da água utilizada para a lavagem da cana, que pode ser atingida com a eliminação da queima da palha da cana na colheita (Ctc, 2008).

4.1.2

Consumo de recurso fósseis.

Para o cálculo do uso de recursos fósseis foram somados os valores das quantidades básicas dos itens de entrada de cada uma das etapas de produção de etanol. No caso em que sejam utilizados litros de óleo diesel como unidades dos itens de entrada, se multiplicou o valor da unidade pela densidade de óleo diesel com a finalidade de obter um valor em quilogramas.

De acordo com a tabela 16, observa-se que as maiores etapas consumidoras de recursos não-renováveis são as atividades de plantio da cana, manejo da cultura, e colheita da cana.

O consumo de recursos não renováveis devesse ao alto uso de agroquímicos, herbicidas e o consumo de diesel das máquinas agrícolas e caminhões empregados para o transporte de cana e de insumos.

Tabela 16. Consumo de recursos não renováveis. Fonte: elaboração própria

Consumo de recursos não renováveis	
Etapa	kg de recurso /ha.ano
PLANTIO DA CANA	2.624,1
MANEJO DA CULTURA	163,8
COLHEITA	98,2
USINA	68,6
DISTRIBUIÇÃO	9
TOTAL	2.963,6

4.1.3

Consumo de energia.

O consumo de energia das atividades do ciclo de vida do etanol está apresentado na tabela 17 e representado no quadro 3, com base na quantidade básica de referencia. A atividade com o maior consumo de energia é a etapa de

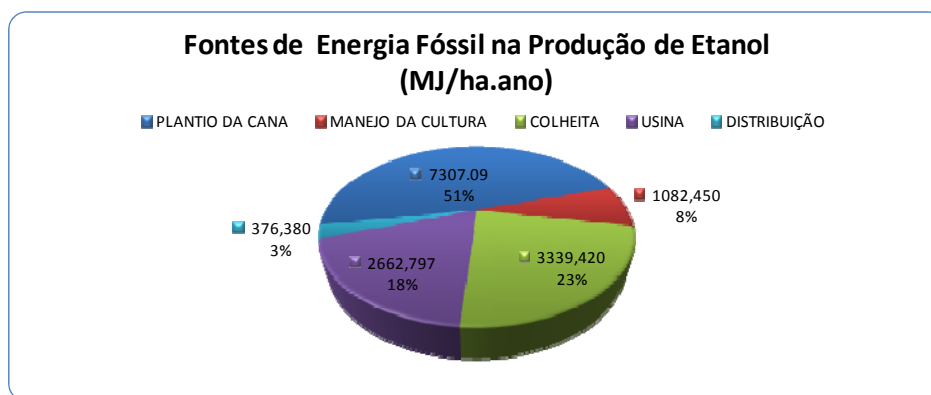
plantio da cana, devido principalmente à energia investida na produção dos fertilizantes, do calcário e também ao uso de maquinário nas operações agrícolas.

Em segundo lugar está a etapa da colheita devido à grande quantidade de energia investida no transporte da cana do campo até a usina. Outra etapa que tem um consumo de energia relevante é a etapa de processamento na usina onde a energia é consumida majoritariamente no processo de produção dos materiais de construção da usina.

Tabela 17 . Consumo de energia não renovável. Fonte: elaboração própria.

Consumo de energia não renovável	
Etapa	MJ/ha.ano
PLANTIO DA CANA	6.969,9
MANEJO DA CULTURA	1.082,4
COLHEITA	3.339,4
USINA	2.662,8
DISTRIBUIÇÃO	349,3
TOTAL	14.404

Quadro 3. Uso de energia fóssil na produção de etanol segundo a atividade do ciclo de vida do etanol. Fonte: Elaboração Própria



4.1.4

Rendimento energético líquido

O rendimento energético líquido, expresso em MJ por hectare num período de um ano, é a diferença entre a energia fornecida pelo processo e a energia consumida no processo, ou o uso de recursos. Permite avaliar a eficiência energética da cultura considerada. No estudo, cada hectare cultivado com cana de

açúcar num ano produziu um rendimento energético líquido de 101.061,4 MJ de álcool fornecido pelo processo. (tabela 18).

Tabela 18. Rendimento energético líquido do sistema. Fonte: elaboração própria.

Energia	Quantidade	Unidade	Fonte
Energia fornecida	115.465,2	MJ/ha.ano	Consumo total de energia na produção do etanol. (Apêndice 7)
Demanda energética	14.431	MJ/ha.ano	Produção de energia pelo etanol. (Apêndice 7)
Rendimento energético líquido	101.061,4	MJ/ha.ano	

É importante destacar que também ocorre geração de energia elétrica, via combustão do bagaço de cana. Oliveira (2007) indica que no ano 2006, em 48 usinas do estado de São Paulo foram gerados 6.100 MW de energia elétrica excedente a partir de bagaço de cana de açúcar.

Entretanto, o presente estudo contemplou que esta energia é reutilizada pela própria usina e não foi considerada, pois se trata de fornecimento interno ao sistema.

Comparada com outras culturas, segundo os resultados da tabela 18, a cana-de-açúcar apresenta um alto rendimento energético de 101 GJ/ha. Hanegraaf et al. (1998) relatam um rendimento de 96 GJ/ha para a cultura de trigo, enquanto Shapouri et al. (2002) adotaram rendimento de somente 38MJ/ha para etanol de milho.

As diferenças no rendimento energético líquido entre o etanol de cana e o etanol de milho e de trigo são devido à alta produtividade agrícola da cana-de-açúcar além do elevado uso de fertilizantes no caso do milho e ao aumento de etapas de processo na usina para o etanol de trigo.

4.1.5 Eficiência Energética

A eficiência energética do sistema foi avaliada através da razão entre energia oferecida pelo sistema e a consumida no sistema, ou razão saída/entrada. Este indicador permite avaliar se o sistema é uma opção viável como fonte de energia, pois os combustíveis são termicamente viáveis somente se fornecerem

volume maior de energia do que a consumida em sua produção. Em outras palavras, a razão fornecimento por consumo deve ser superior a 1.

Este parâmetro indica a eficiência do sistema na conversão de biomassa em combustível. Quanto maior seu valor, maior o rendimento em relação à energia investida, ou consumida e, portanto, maior a eficiência do sistema. Também pode ser utilizado como uma indicação de sua capacidade de renovação: quanto menor seu valor, menor a “renovabilidade” do combustível, pois maior o uso de combustível fóssil (Malça e Freire, 2006).

Macedo et al. (2008) e Malça e Freire (2006), sugerem que a avaliação da eficiência termodinâmica e da capacidade de renovação dos biocombustíveis seja feita através da razão entre o rendimento líquido e a energia consumida, que segundo os autores é a razão entre a energia renovável disponibilizada e a energia fóssil consumida. Matematicamente, entretanto, este indicador é igual ao anterior subtraído de uma unidade e, portanto, avalia a eficiência energética da mesma forma que o primeiro. Além disso, a relação fornecimento por consumo é utilizada por vários trabalhos sobre biocombustíveis permitindo a comparação entre os estudos.

A Tabela 19 apresenta valores encontrados na literatura para a eficiência energética do etanol gerado a partir de diferentes biomassas. Ainda que a mesma biomassa seja considerada, uma variação entre as eficiências energéticas é observada na literatura. Os diferentes resultados são devidos, principalmente, às variações de produtividade agrícola, bem como de utilização de insumos nesta etapa. Por sua vez, estas diferenças são decorrentes de variações em fertilidade do solo e do manejo agrícola.

A eficiência energética do etanol de cana-de-açúcar foi calculada no presente estudo dividindo os valores da energia fornecida entre a demanda energética, apresentados na tabela 18 resultando o valor de 8,0 como é mostrado na tabela 19, da mesma grandeza dos outros estudos de etanol de cana. Trata-se da biomassa que fornece o maior rendimento energético. Este resultado se deve, principalmente, à grande produtividade alcançada por área na etapa agrícola, juntamente com a eficiência na utilização de subprodutos industriais. Segundo a publicação “Bioetanol de cana-energia para o desenvolvimento sustentável” do BNDES e CGEE (2009) outro fator que diferencia a cana é seu alto teor de

açúcares, que apresenta melhor conversão para o etanol, e as outras biomassas se distinguem pelo teor de celulose e amidos.

Tabela 19. Eficiência energética, razão energia fornecida/energia consumida.

Fonte: elaboração própria.

Matéria Prima	E.Fornecida/E.consumida	Fonte
Cana-de-açúcar	8,0	Presente estudo
Cana-de-açúcar	8,2	Pereira (2008)
Cana-de-açúcar	9,0	Boddey et al. (2008)
Cana-de-açúcar	1,7	Pimentel e Patzek (2007)
Beterraba (França)	1,6	Malça e Freire (2006)
Trigo (França)	1,9	Malça e Freire (2006)
Milho (USA)	1,1	Shapouri et al. (2002)
Milho (Itália)	1,4	Ulgianti (2001)

Ulgianti (2001) considerou um cenário onde o combustível fóssil utilizado pelo sistema é totalmente substituído pelo próprio etanol, por exemplo, pelo uso de tratores e caminhões movidos a etanol, o aumento necessário na produção deste combustível para repor o óleo diesel poder ser estimado e, assim, pode ser relacionado ao incremento dos impactos ambientais.

Por exemplo, o rendimento bruto do etanol encontrado no presente estudo foi de 8,0 unidades energéticas fornecidas por unidade investida, o rendimento líquido, ou a energia fornecida à sociedade, é de 7,0 unidades energéticas. Desta forma, para cada litro de etanol fornecido, deve-se produzir 1,14 litros de etanol, que corresponde a um aumento de 14%. Ou seja, a demanda por área agrícola, por água, a perda de solo, a utilização de substâncias químicas, etc, devem ser acrescidos em 14% para o sistema ser autosuficiente.

4.2

Uso do solo

Para o cálculo do uso do solo se considerou um rendimento médio de 65,94 toneladas de cana por hectare para a safra 2009-2010, IBGE (2010a). O rendimento foi dividido entre a área equivalente a um hectare em metros quadrados, resultando o valor de 149,6 m² de solo usado para produzir uma tonelada de cana-de-açúcar. Como se indicou anteriormente (subtítulo 4.1.1), para produzir 1 litro de etanol é necessária uma media de 12,25 quilogramas e consequentemente são necessários 1,86 m² de solo para produzir um litro de etanol. A tabela 19 mostra os valores da literatura encontrados para o uso do solo

na produção de etanol produzido a partir de diferentes biomassas e o valor obtido neste estudo.

Tabela 20. Uso do solo. Fonte: elaboração própria.

Matéria Prima	Uso do solo (m ²)	Fonte
Cana-de-açúcar	1,86	Presente Estudo
Cana-de-açúcar (Brasil)	2,24	Andreoli e Souza (2006)
Milho (Usa)	3,3	Andreoli e Souza (2006)
Milho (Italia)	5,0	Ulgati (2001)

A comparação dos resultados indica que a produção de etanol a partir de cana-de-açúcar requer área menor do que para a produção de etanol a partir de milho. Este resultado, entretanto, deve ser avaliado considerando o consumo total de combustíveis. No Brasil em 2009 foram consumidos 25,4 milhões de metros cúbicos de gasolina, ANP (2010). A área necessária para a substituição total deste volume de gasolina por etanol, sem considerar a diferença de consumo médio entre os veículos movidos a gasolina e a etanol, corresponde a 5,66 milhões de hectares. Este valor é aproximado à área total de plantio de cana da região Centro-Sul na safra 2008/2009 (5,98 milhões de hectares) publicada pelo relatório “Perfil do setor de açúcar e do etanol no Brasil” publicado pelo MAPA (2010).

4.3

Perda de solo devido à erosão

A perda do solo considerada neste estudo foi de 188 kg de solo por tonelada de cana-de-açúcar, e 2,3 kg de solo por litro de etanol. Para o cálculo foi dividido o valor que Donzelli (2005), calculou de 12,4 toneladas de solo perdidas por hectare num ano, entre o rendimento médio de 65,94 toneladas de cana por hectare para a safra 2009-2010 (Ibge, 2010a).

Os resultados são melhores dos que encontrados pelo estudo de Ulgati (2001), avaliando a produção de etanol de milho na Itália quando a perda de solo de 17 toneladas por hectare ano representou uma perda de solo de 6,2 kg por litro de etanol. Entretanto, este indicador deve ser avaliado considerando a produção de etanol em larga escala, como é o caso do Brasil. A perda de solo associada à área de cana colhida na safra 2008/2009 no Brasil, 7,06 milhões de hectares (Mapa, 2010), é de 87,5 milhões de toneladas de solo por ano. Este impacto pode também

ser avaliado pela perda de solo associado a um tanque de combustível de 50 litros, capaz de rodar aproximadamente 350 km, que é de aproximadamente 115 kg de solo perdido.

4.4

Emissões atmosféricas

Especificamente em relação às emissões atmosféricas, cujos resultados são apresentados a seguir:

A contribuição dos gases mais emitidos durante o ciclo de vida do etanol está representada no quadro 4 e apresentada na tabela 20. A grande quantidade de CO₂ deve-se à utilização intensa de diesel nas máquinas agrícolas, nos caminhões e nos ônibus empregados para o transporte do pessoal, além das emissões na queimada.

Quadro 4. Maiores emissões atmosféricas do ciclo de vida do etanol.

Fonte: Elaboração Própria

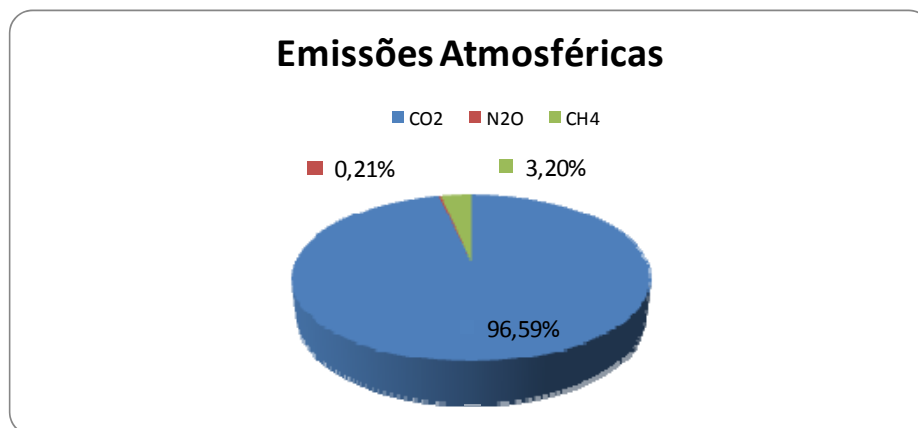


Tabela 21. Porcentagem das maiores emissões atmosféricas do ciclo de vida do etanol.

Fonte: elaboração própria.

GEE	kg /ha.ano	%
CO ₂	768,0	96,6%
N ₂ O	1,6	0,2%
CH ₄	25,5	3,2%
Total	795,2	100%

As quantidades de emissões atmosféricas referentes ao ciclo de vida do etanol, segundo a atividade onde é originada estão apresentadas na tabela 21 e

representadas no quadro 5. O ciclo de vida do etanol brasileiro analisado gera a quantidade de 2.247,7 quilogramas de CO₂ equivalente com base na quantidade básica de um hectare por ano.

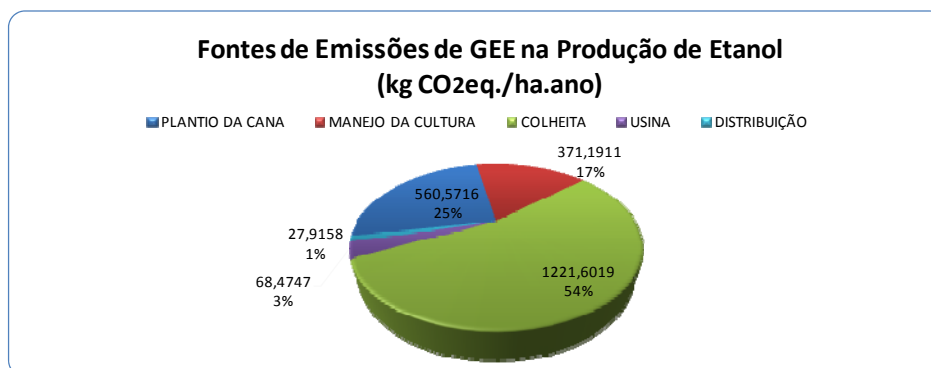
Tabela 22. Quantidade de substâncias atmosféricas emitidas por hectare de cultivo de cana-de-açúcar num ano. Fonte: elaboração própria.

Emissões Atmosféricas	Plantio da cana	Manejo da cultura	Colheita	Usina	Distribuição	Total
kg /ha.ano						
CO ₂	219,4	31,9	488,8		25,9	
N ₂ O	0,00066	0,88114	0,76154		2,09561E-08	
CH ₄	0,00799	3,4	22,1		0,00105	
Total	219,4	36,2	511,6		25,9	
CO ₂ equivalente	560,6	371,2	1.221,6	68,5	25,9	2.247,7

- Potencial para o efeito estufa:

De acordo com o quadro 5 a etapa que emite a maior quantidade de GEE em unidades de CO₂ equivalente é a etapa da colheita devido à grande emissão de CO₂ na queima da cana, anterior à colheita quando esta não é mecanizada, a segunda etapa mais importante em emissões é a etapa do plantio da cana, cujas emissões de CO₂ e N₂O são originadas na aplicação de herbicidas, calcário e inseticidas, e em terceiro lugar, a etapa de manejo da cultura cujas emissões de N₂O são ocasionadas devido à aplicação da vinhaça.

Quadro 5. Emissões de GEE na produção de etanol segundo as etapas do ciclo de vida do etanol. Fonte: Elaboração Própria



4.5

Desflorestamento amazônico VS Produção de etanol

O desflorestamento, além dos danos à biodiversidade (fragmentação de florestas, extinção de espécies, etc.), aos solos e aos recursos hídricos, também contribui para o efeito estufa, especialmente quando associado às queimadas.

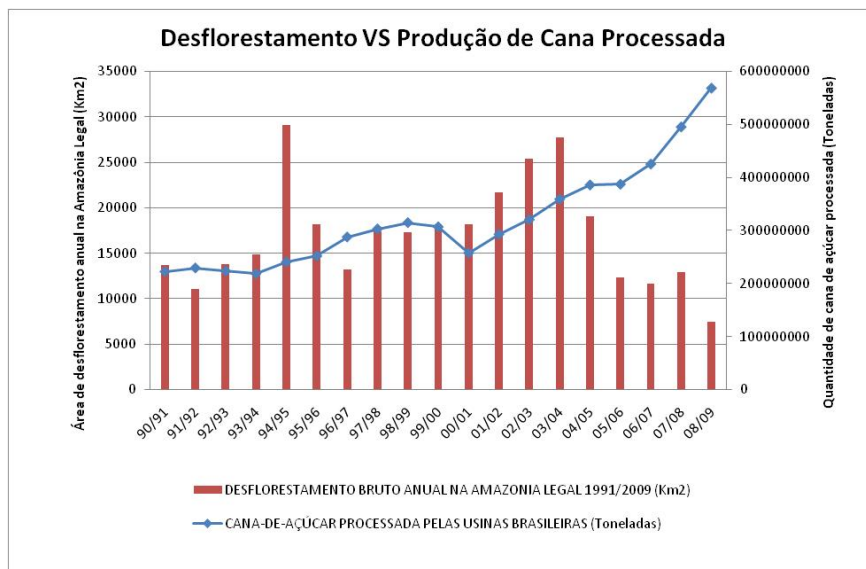
A destruição de florestas e de outras formas de vegetação nativa é responsável por mais de 75% das emissões líquidas de CO₂ para a atmosfera do Brasil, colocando ao país segundo o livro: “Indicadores de Desenvolvimento Sustentável” publicado pelo IBGE (2010b), entre os dez maiores emissores mundiais de gases de efeito estufa.

No quadro 6 é apresentada uma comparação entre a área de desflorestamento da Amazônia e a produção de cana de açúcar processada nos últimos 20 anos e no quadro 7 se compara a área de desflorestamento com a produção de etanol. Pode-se observar que as taxas de desflorestamento na Amazônia têm valores elevados e oscilantes ao longo do tempo. Após um período de crescimento quase contínuo da taxa de desflorestamento entre 1997 e 2004, quando atingiu um pico, o valor tem se reduzido nos últimos cinco anos.

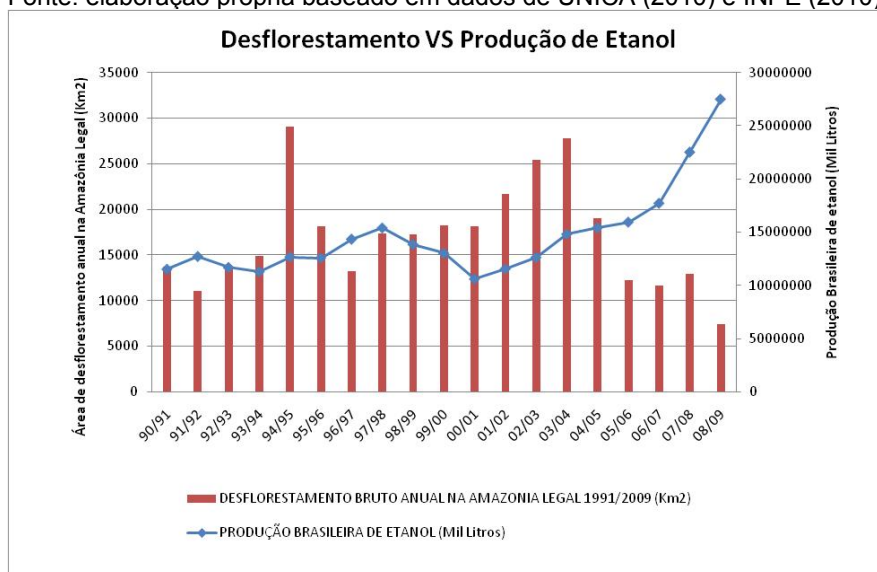
Embora a tendência de queda seja observada para todos os estados da Amazônia Legal, esta é mais acentuada em alguns deles. A área total desflorestada, por sua vez, se aproxima dos 20% da área florestal original da Amazônia, um dado preocupante, pois a velocidade com que o processo de desmatamento ocorre ainda é muito alta. Por outro lado pode-se observar que as produções de etanol e de cana de açúcar processada têm um constante crescimento ao longo dos últimos dez anos.

Nos últimos cinco anos a produção de cana e etanol vem subindo acentuadamente enquanto o desflorestamento na Amazônia vem caindo. Pode-se concluir que o crescimento da produção do etanol não é um dos principais causadores do desflorestamento da Amazônia.

Quadro 6. Comparação de Desflorestamento VS a produção da cana de açúcar processada. Fonte: elaboração própria baseado em dados de ÚNICA (2010) e INPE (2010).



Quadro 7. Comparação de Desflorestamento VS a produção de etanol. Fonte: elaboração própria baseado em dados de ÚNICA (2010) e INPE (2010).



4.6

Produção de alimentos VS produção de etanol

Normalmente a cana-de-açúcar não é uma lavoura pioneira em áreas virgens da fronteira agrícola, expandindo-se em áreas já ocupadas por outras atividades agrícolas, ocorrendo assim um processo de substituição de culturas. Para conhecer o impacto do cultivo da cana-de-açúcar na produção de alimentos, o fenômeno de substituição de culturas a continuação será analisado.

Como se observa na Tabela 22, a atividade substituída predominante foi a pastagem bovina com 349.248 hectares e 77,84% do total seguido pelo cultivo da soja com 37.586 hectares e 8,4% do total dos cultivos que estão sendo substituídos.

Para estimar qual é o impacto da expansão do cultivo da cana na produção de alimentos, se comparou as áreas totais cobertas por cada cultivo segundo censo 2006 do IBGE com as áreas que estão sendo substituídas pelo cultivo da cana-de-açúcar (Tabela 24).

Assim a área estimada de pastagem no Brasil está próxima de 172 milhões de hectares, a fração substituída significa 0,2% desse total. Sendo as frações dos outros cultivos substituídos mínimas. Essa comparação confirma o senso comum dos especialistas que acompanham a atividade sucroalcooleira e revelam que as áreas de produção de alimentos substituídas, particularmente soja e milho, com um total de 49.200 hectares, representam apenas uma fração ínfima da área brasileira dessas lavouras, estimada em 36 milhões de hectares na safra 2008-09.

Tabela 23. Participação das lavouras substituídas pela cana de açúcar na safra 2008/2009. Fonte: elaboração própria baseado nos dados de Mapa (2010).

Principais cultivos que estão sendo substituídos		
Cultivos	Hectares	%
Milho	11.639	2,6%
Soja	37.586	8,4%
Café	636	0,1%
Laranja	9.478	2,1%
Pasto	349.248	77,9%
Novas	4.047	0,9%
Outros	35.828	8%
TOTAL	448.462	100%

Tabela 24. Comparação entre as áreas de cultivo substituídas pela cana de açúcar e as áreas estimadas por cultivo substituído. Fonte: elaboração própria baseado nos dados de Mapa (2010) e do IBGE (2010a).

Zona	Cultivo							
	Milho	Soja	Café	Laranja	Pasto	Novos	Outros	Total
	Área de expansão de lavoura substituída pela cana-de-açúcar (ha)							
Centro - Sul	11.639	37.566	636	8.478	328.540	2.077	25.675	414.611
Norte-Nordeste	0	0	0	1.000	20.708	1.970	10.153	33.831
Total	11.639	37.586	636	9.478	349.248	4.047	35.828	448.442
Censo, 2006	Área estimada de cultivo (ha)							
	11.724.362	15.646.980	1.687.851	596.919	172.333.073			
Fração de área de cultivo substituída	0,10%	0,24%	0,04%	1,59%	0,20%			

4.7 Zoneamento Agroecológico

Comparando o mapa do ZAE, figura 15 com o mapa das usinas de etanol no Brasil, publicado no relatório “Perspectivas para o Etanol no Brasil”, EPE (2008) apresentado na figura 16, observa-se que atualmente existem cerca de 10 usinas em operação nas áreas de restrição do ZAE ou muito próximas a estas áreas: 2 usinas no Bioma Amazônia e cerca de 8 usinas próximas ao Bioma Pantanal.



Figura 16. Bioma Amazônia, Bioma Pantanal e Bacia do Alto Paraguai no Território Brasileiro. Fonte: (Mapa et al., 2009)

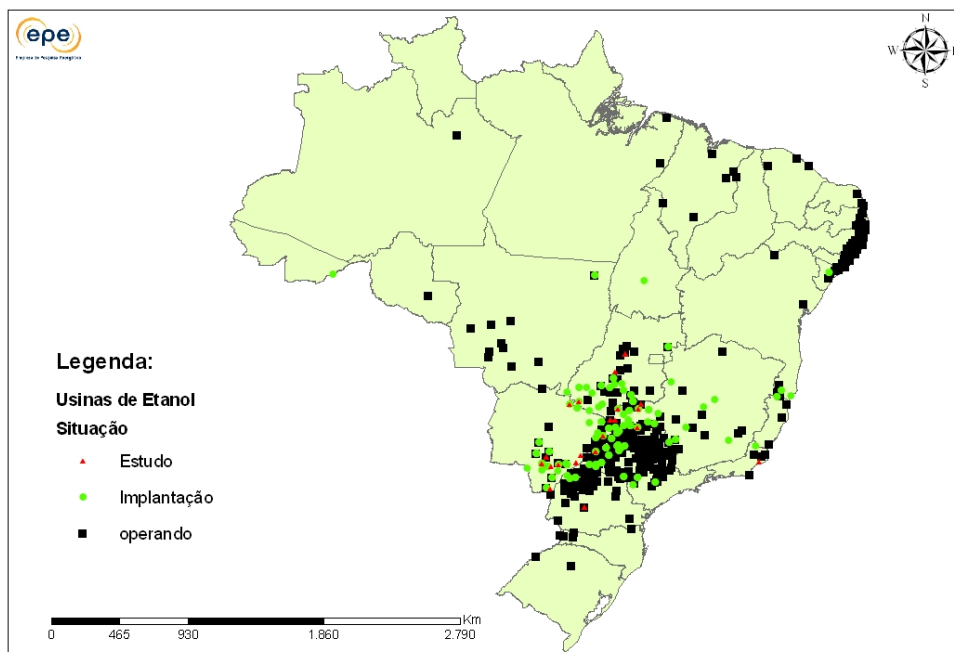


Figura 17. Mapa da Usinas de Etanol no Brasil. Fonte: EPE

Como as usinas mostradas na figura 16, operando nas áreas de restrição, já entraram em operação antes da conclusão do ZAE, cabe investigar as medidas e ações aplicáveis a elas. Logicamente ao localizar-se numa área restrita para o funcionamento, a obtenção de uma certificação ambiental para o etanol processado seria impossível.

4.8 Análise de Incertezas

A metodologia seguida para a análise de incertezas é a recomendada pelo Manual de Boas Práticas e manejo de incertezas em inventários nacionais de GEE. IPCC (2006b). Ao não ter dados empíricos (dados de campo) para os itens de entrada e para seus respectivos fatores energéticos, só se empregaram valores das incertezas dos fatores energéticos que são recomendados pelo Manual de Boas Práticas para estudos onde são usadas considerações de expertos e dados bibliográficos como é neste caso. Estes valores são apresentados no Anexo 4.

O resultado da análise das incertezas é mostrado na tabela 24, no Apêndice 5 se mostra toda a memória de cálculo desenvolvida para encontrar as incertezas do cada uma das etapas do análise de ciclo de vida do etanol. É importante

mentonar que a folha de cálculo do programa já esta implementada com a memória de cálculo das incertezas, assim quando posteriormente se tenham dados de campo podasse executar a análise.

Tabela 25. Incertezas para cada uma das etapas do ciclo de vida do etanol de cana-de-açúcar. Fonte: elaboração própria.

Etapa	Emissões de CO ₂ eq. (%)
Plantio de Cana	4,0%
Manejo da Cultura	0,2%
Colheita	18,4%
Usina	-
Distribuição	0,3%