


ESPECIAL EMBRAPA

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA

- > **Mitigação das emissões de gases de efeito estufa**
- > **Uso de etanol da cana-de-açúcar produzido no Brasil**

José Marcos



Ao completar 36 anos em abril, a Embrapa apresenta estudo feito por pesquisadores da Embrapa Agrobiologia (Seropédica/RJ), com a conclusão de que o etanol de cana é capaz de reduzir em 80% as emissões de CO₂ (principal gás causador do efeito estufa) na atmosfera se usado em substituição à gasolina pura. A pesquisa avaliou ainda quanto de gases de efeito estufa é produzido em cada etapa da produção tanto do etanol como da gasolina.

1. Introdução

O etanol é um produto resultante do processo de fermentação dos açúcares produzidos e/ou derivados de culturas agrícolas como cana-de-açúcar, milho ou mandioca, enquanto que o biodiesel é feito com óleos vegetais extraídos da soja, mamona ou dendê, ambos chamados de biocombustíveis.

A utilização dos biocombustíveis em veículos de transporte ou passeio não significa que o veículo locomove-se sem emissões de gases de efeito estufa.

O biocombustível é derivado de materiais vegetais e composto por carbono derivado exclusivamente do gás carbônico (dióxido de carbono, CO_2) da atmosfera, via processo de fotossíntese. Mesmo assim, as suas etapas de produção requerem a utilização de energia contida em fontes fósseis de carbono (petróleo, carvão e gás natural, por exemplo), para operações agrícolas, síntese do biocombustível e distribuição ao consumidor. Em todo esse processo, também ocorrem emissões de outros gases de efeito estufa, principalmente metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O).

Vários especialistas brasileiros estimaram a quantidade da energia fóssil necessária para produzir etanol de cana-de-açúcar (energia por litro, em MJ L^{-1} , ou energia por tonelada, GJ Mg^{-1}) nas condições brasileiras. O consenso entre essas equipes é o de que o balanço energético (razão entre a energia total contida no biocombustível produzido e a energia fóssil investida na sua produção) é aproximadamente oito ou nove, tanto nas condições de São Paulo, como no âmbito nacional.

Entretanto, nos estudos feitos no exterior para calcular o balanço energético para o etanol da cana nas condições brasileiras, as estimativas foram consideravelmente menores.

As razões para isso são várias. Alguns consideraram que a energia usada na produção de etanol era toda de origem fóssil, como no passado, mas na atualidade, toda energia usada nas usinas é renovável, fornecida com a queima do próprio bagaço resultante do esmagamento da cana. As estimativas mais recentes trazem balanços energéticos baixos para o etanol da cana porque são baseadas em dados ultrapassados sobre o uso de energia fóssil nas operações de campo, e também usam estimativas muito altas do custo energético do transporte dos colmos de cana do campo à usina.

A compilação de todos os dados para calcular o balanço energético de um biocombustível envolve muito esforço e tempo, mas isso é apenas um dos componentes da avaliação do impacto ambiental global na utilização de biocombustíveis. A questão mais relevante dentro do presente contexto é a economia nas emissões de GEEs (mitigação total do efeito estufa) quando um veículo consome etanol derivado da cana-de-açúcar em vez de gasolina (com ou sem adição de etanol) ou diesel convencional.

Nesses cálculos deve-se considerar também a distância rodada pelo automóvel com um litro de cada combustível, para permitir a comparação entre eles.

2. Objetivos e passos abordados

O objetivo deste trabalho é contabilizar o impacto total na mitigação dos gases de efeito estufa com a mudança do uso de diesel convencional ou gasolina para etanol de cana-de-açúcar, considerando-se um veículo (motor *flex fuel*) rodando com bioetanol hidratado, conforme é vendido em qualquer posto de abastecimento no Brasil.

Para isso, foi necessário abordar os seguintes pontos:

1. Qual é a relação da energia total do bioetanol de cana com a energia fóssil utilizada em sua produção, a contabilidade do chamado Balanço Energético?
2. Quais as emissões dos outros gases de efeito estufa (GEEs), CH_4 e N_2O , durante a produção da cana-de-açúcar e sua conversão em etanol?
3. Qual é o impacto da mudança da colheita manual, após queima do canavial, para a colheita mecanizada da chamada cana crua (colhida sem a queima prévia), nas emissões de GEEs?
4. Qual é o impacto nas emissões de GEEs da possível expansão da área de cana-de-açúcar para produzir etanol?

3. Aplicação nas condições brasileiras

3.1. Operações agrícolas

Para calcular o balanço energético da produção de cana foram usados os dados mais atuais disponíveis. A base de dados consultada em janeiro de 2009 foi o IBGE, com fornecimento das seguintes informações.

Safra 2008

- A área colhida de cana-de-açúcar de 8,2 milhões de hectares. Um aumento de 16,5% em comparação a 2007;
- A produção total de 653 milhões de toneladas de colmos ou 653 Tg;
- O rendimento médio de 79,5 toneladas por hectare de colmos frescos.

Safra de 2006

- O rendimento de 76,7 toneladas por hectare;
- A produção de etanol de 6.281 litros por hectare.

Nestes dois anos o rendimento aumentou em 3,65%. Assumindo-se que a eficiência de conversão de cana em etanol manteve-se estável, estima-se a produção de etanol por hectare em 2008 foi de 6.510 litros.

O manejo da cultura da cana-de-açúcar varia entre as usinas, mas após diversas consultas a usineiros e agrônomos de São Paulo e de outras regiões, foi possível chegar a um “manejo padrão” que é típico para a maioria das usinas bem conduzidas.

O ciclo de plantio é de seis anos, com um ciclo de cana-planta de 18 meses, iniciado após um pousio de seis meses, seguida por 4 socas colhidas em intervalos de 12 meses.

Existem produtores que investem menos nos insumos, geralmente com rendimentos menores do que a média nacional, e que renovam as plantações menos frequentemente. Neste caso, os ingressos de energia fóssil e as emissões de GEEs são menores do que o padrão, e por isso, neste trabalho, a tendência é a de subestimar o balanço energético, ou o poder mitigador da substituição de diesel ou gasolina por etanol.

Quase todos os produtores usam a preparação convencional do solo para a renovação do canavial. Consiste em duas ou três passagens com arado de discos pesado, frequentemente precedido por um subsolador e seguido por uma grade niveladora e depois um sulcador.

Recentemente, foi introduzido em escala experimental um sistema de plantio direto onde a cultura anterior remanescente e as ervas daninhas são controladas por herbicidas, e a única operação mecânica no solo é a formação dos sulcos. Entretanto, com o aumento na utilização de colheitadeiras mecânicas, a tendência é o de agravamento de problemas relacionados à compactação do solo e, por isso, parece pouco provável, por enquanto, que a prática de aração profunda ou subsolagem deixe de ser usada.

A maioria das áreas utilizadas com cana-de-açúcar localiza-se em solos ácidos. Estudos estimam que a cada novo plantio (a cada seis anos) são adicionados 2 toneladas de calcário por hectare. A adubação anual de P e K recomendada é de 16 e 83

quilos por hectare de P_2O_5 e K_2O , respectivamente (correspondendo à soma das cinco aplicações, uma cana-planta e quatro socas, divididas por seis anos).

O adubo nitrogenado é especialmente “caro” em termos de consumo de energia fóssil, visto que é produzido pelo processo Haber-Bosch, sob temperaturas e pressões altas, alimentado principalmente por gás natural.

A energia fóssil (mega Joules – MJ) utilizada na produção de uréia foi calculada em :

- 54 MJ por quilo de N;
- 3,2 MJ por quilo de P;
- 5,9 MJ por quilo de K.

No Brasil, as variedades de cana mais plantadas conseguem se beneficiar da fixação biológica de nitrogênio, realizada por bactérias diazotróficas associadas aos tecidos da planta. Por isso, as quantidades de N-fertilizante adicionadas são bem menores do que em outros países como a Austrália, Colômbia, os EUA, o Peru etc., onde se adicionam entre 150 e 200 quilos de N por hectare por ano na cultura da cana-de-açúcar.

No Brasil, a aplicação N por hectare é geralmente de 20 quilos no plantio e 80 a 100 quilos nas socas, resultando numa média ponderada anual ao redor de 57 quilos por hectare.

O plantio é feito com toletes (pedaços de colmo) utilizando-se aproximadamente 12 toneladas de colmos frescos por hectare. A energia fóssil investida para cada tonelada de toletes é a mesma investida para produzir 1 tonelada de colmos comerciais. Como as 12 toneladas de toletes são usados para um ciclo de seis anos de cana-de-açúcar, o ingresso anual de energia



José Marcos

Consumo de energia, na forma de óleo diesel combustível, em operações agrícolas para renovação e manutenção do canavial ao longo de um ciclo de produção de cana-de-açúcar no Brasil

1. Ciclo de cana-planta					
Operação agrícola	Equipamento	Litros/h	ha/h	Litros/ha	MJ/ha (a)
Aplicação de calcário	MF 290	6,00	1,78	3,37	161,0
Incorporação dos restos culturais	Valmet 1280	12,80	1,85	6,92	330,4
Aração pesada I	CAT D6	27,60	1,98	13,94	665,7
Subsolagem	CAT D6	26,00	1,16	22,41	1070,4
Aração pesada II	CAT D6	27,60	2,04	13,53	646,1
Aração pesada III	CAT D6	27,60	2,04	13,53	646,1
Gradagem	CAT D6	13,00	2,52	5,16	246,4
Sulcamento	MF 660	11,50	1,26	9,13	435,9
Distribuição de toletes	MF 275	3,30	0,79	4,18	199,5
Fecham. Sulcos e aplic. de inseticidas	MF 275	4,80	2,52	1,90	91,0
Aplicação de herbicidas	Ford 4610	4,00	3,30	1,21	57,9
Capina entre linhas	Valmet 880	5,50	1,44	3,82	182,4
Total				99,10	4.732,7
2. Ciclo de cana-soca					
Operação agrícola	Equipamento	Litros/h	ha/h	Litros/ha	MJ/ha
Remoção de resíduos	MF 275	4,00	1,37	2,92	139,4
Capina entre linhas	Valmet 1580	9,20	2,05	4,49	214,3
Aplicação de herbicidas	Ford 4610	4,00	3,30	1,21	57,9
Total				8,62	411,6
Média anual de todas as operações agrícolas [b]				22,26	1.062,7

Adaptado de Boddey et al., 2008.

(a) Valor calorífico de 1,0 litro de óleo diesel = 47,73 MJ.

(b) Baseado em um sistema de produção composto por um ciclo de cana-planta e quatro socas em um período total de 6 anos, (média anual de consumo de combustível = {CcP + (4 x CcS)}/6, onde CcP e CcS = consumo de combustível para cana-planta e cana-soca, respectivamente).

fóssil corresponde ao da produção de 2 toneladas por hectare de colmos de cana.

Outros ingressos de energia fóssil vêm dos herbicidas e inseticidas. A quantidade de herbicidas usada é grande, e com a eliminação da queima poderia até aumentar ao longo dos anos.

O Sindicato Nacional da Indústria de Produtos para Defesa Agrícola (Sindag) relata que foram utilizados 3,2 quilos de ingredientes ativos de herbicidas por hectare, na cultura da cana-de-açúcar em 2006.

Devido à complicada síntese dos herbicidas, os produtos necessitam grandes quantidades de energia fóssil na sua fabricação industrial, sendo estimadas em 452 MJ por quilo de ingrediente ativo. No caso de inseticidas, a utilização é muito menor devido aos programas de controle biológico da broca da cana (*Diatraea saccharalis*) com a vespa *Cotesia flavipes*, e da cigarrinha (*Mahanarva fimbriolata*, e *M. posticata*) com o fungo *Metarhizium anisopliae*.

O grande sucesso destes programas resultou na redução da utilização de inseticidas para 0,24 quilo de ingrediente ativo por hectare. Isso não somente é um benefício para a saúde dos trabalhadores no canavial e para o meio ambiente, mas também significa que o ingresso de energia fóssil por essa fonte é pequeno.

A quantidade de combustível utilizado pelas máquinas é maior na implantação da cultura. É nesse momento que ocorre

o maior consumo de óleo diesel, totalizando quase 100 litros por hectare (4.733 MJ em energia).

Nas operações de manutenção das socas, a utilização de máquinas é bem menor, sendo menos de 9 litros por hectare por ano. Na média, as máquinas consomem 22,3 litros por hectare por ano de óleo diesel, ou um total de 1.062,7 MJ ha⁻¹.

Outra atividade com grande consumo de óleo diesel é o transporte da cana do campo para a usina. Calculou-se que, em média, a cana é recolhida em um raio de 22 quilômetros da usina. O caminhão vazio precisa se deslocar até 22 quilômetros e voltar cheio pela mesma distância.

Assumindo que o transporte seja feito por um caminhão com reboque (tipo "Romeu e Julieta"), carregam-se 28 toneladas de cana e percorre-se 1,6 quilômetro com cada litro de óleo diesel, quando totalmente carregado.

Quando vazio, o caminhão percorre 3 quilômetros por litro de diesel, donde se calcula que o volume total de óleo diesel necessário para buscar a cana produzida em um hectare é de 52 litros.

Com 5 colheitas em 6 anos, consomem-se, em média, 47,7 litros diesel por hectare ou um total de 2.058 MJ/hectare/ano. O óleo diesel também é consumido no transporte de produtos como calcário e adubos para a usina.

Anteriormente, foi calculado que esses insumos percorrem uma distância média de 500 quilômetros, e que um caminhão

carrega 35 toneladas com um consumo de 1 litro de diesel para cada 2 quilômetros percorridos.

Considerando-se a demanda de insumos para produzir 1 hectare de cana, utilizam-se 5,8 litros de diesel para transporte dos insumos (277 MJ por hectare ano).

Para o cálculo do balanço energético supôs-se que a maioria da colheita da cana ainda é feita manualmente após a queimada, situação esta que ocorre em aproximadamente 60% da área canavieira nacional. O cenário alternativo para a colheita mecânica da cana crua é apresentado mais adiante

Segundo as normativas internacionais ISO (International Organization for Standardization, série 14.040), para estudos de *Ciclo de Vida* (*Life Cycle Analysis*), é necessário incluir a energia

fóssil utilizada na fabricação, manutenção e possível desmontagem e disposição de equipamentos e construções utilizadas na manufatura de um produto. Todas essas etapas estão contabilizadas na tabela abaixo, no item Máquinas, no qual se incluem tratores e implementos agrícolas.

A estimativa do total de energia fóssil utilizado nas operações de campo, incluídos o transporte de cana para a usina e o fornecimento de insumos, é de 12.329,7 MJ por hectare ano.

Considerando-se que um litro de etanol produz na combustão 21,45 MJ de energia, um hectare de cana-de-açúcar, capaz de produzir 6.510 L de etanol, pode gerar 139.639 MJ de energia, aproximadamente 11 vezes a energia fóssil investida nas operações agrícolas.

Consumo de energia fóssil, produção de energia renovável e balanço energético do bioetanol produzido a partir de cana-de-açúcar nas condições brasileiras atuais. Os valores estão expressos por hectare

Entradas	quantidade	unidade	MJ/unidade	MJ/ha/ano
Operações agrícolas				
Trabalho	64,0	H	7,84	501,8
Máquinas	186,5	Kg	8,52	1.588,8
Óleo Diesel	28,8	L	47,73	1.383,7
Nitrogênio	56,7	Kg	54,00	3.061,8
Fósforo	16,0	Kg	3,19	51,0
Potássio	83,0	Kg	5,89	488,9
Calcário	367,0	Kg	1,31	478,9
Sementes (a)	2.000,0	Kg		252,2
Herbicidas	3,20	Kg	451,66	1.445,3
Inseticidas	0,24	Kg	363,83	87,3
Aplicação da vinhaça	180,0	m³	3,64	656,0
Transporte insumos (b)	820,0	kg		276,8
Transporte cana (c)	42,7	L	47,73	2.058,0
Transporte total				2.334,8
Total das operações agrícolas				12.329,7
Entradas da Usina				
Reagentes químicos (d)				487,6
Água		L		0,0
Cimento	11,5			75,9
Aço leve estrutural	28,1	Kg		841,8
Aço leve em equipamentos	23,1	Kg		693,5
Aço inoxidável	4,0			287,1
Retificação até 99,5%		kg		225,3
Tratamento de efluentes	0			0,0
Total de entradas na usina				2.611,1
Total de todas entradas de energia fóssil				14.940,8
Saídas				
Rendimento da cana-de-açúcar	79,5	T/ha		
Produção total de etanol	6.510,0	L/ha	21,45	139.639,5
Balanço energético final (e)				9,35

(a) Estimado como correspondente a 2,6% de todas as entradas agrícolas.

(b) Transporte de máquinas, implementos, etc, para a lavoura ou fábrica.

(c) Transporte de cana colhida para a usina.

(d) Adaptado de Macedo et al., (2003).

(e) Total de energia produzida/energia fóssil investida.

3.2. Ingresso de energia fóssil na usina

Uma utilização massiva de energia nas usinas ocorre nas fases de limpeza, preparo e esmagamento da cana, nas esteiras de transporte, filtros e centrifugas e aquecimento do caldo para fermentação.

Uma usina pode conter mais de 400 motores elétricos de alto rendimento. Também uma grande quantidade de calor é necessária para a destilação do mosto, para produzir o álcool hidratado (95%). Esta energia foi estimada como de 2.546 Mcal (10.642 MJ) por 1.000 l de etanol, o equivalente a 69.300 MJ por hectare, ou quase 50% da energia contida no etanol.

No entanto, as usinas brasileiras produzem toda a energia que consomem pela queima do bagaço em caldeiras de alta pressão, cujo vapor gerado aciona turbinas que produzem eletricidade em unidades de co-geração.

Assim, os ingressos significativos de energia fóssil estão associados ao material usado nas construções e nos equipamentos das usinas.

Estima-se que existam quase 400 usinas no Brasil moendo cana para produzir açúcar e bioetanol, colhida de uma área de 8,2 milhões de hectares. Com este dado é evidente que, na média, a cada ano, uma usina deva esmagar cana colhida em aproximadamente 17.000 hectares, assumindo que um sexto da área fica em pousio.

Essa usina “padrão” mói 1,35 milhões de toneladas de cana por ano, ou no período típico de 180 dias de operação, o equivalente a 7.500 toneladas de cana por dia.

Com a ajuda dos engenheiros Roberto dos Anjos e Antônio Sesso da companhia Dedini S.A. (responsável pela construção de aproximadamente 80% das usinas no Brasil), levantaram-se os dados de tamanho da área física e quantidades de cimento, aço comum, aço inox e outros materiais que compõem uma usina/destilaria com capacidade para moer 2.000.000 toneladas de cana por ano.

Como esses dados correspondem a uma usina moderna, bem mais eficiente em termos energéticos do que a maioria das existentes, neste estudo considerou-se a fração que corresponderia a uma usina média brasileira.

Utilizando-se dados do conteúdo de energia no cimento, aço etc, calculou-se, com base nos procedimentos recomendados, a energia necessária para construir, manter e renovar o modelo de usina considerado. Essa energia foi convertida em MJ por hectare/ano de cana moída.

Foi feita uma estimativa da energia fóssil necessária para converter etanol hidratado (95%) em anidro (99,5%), que é a forma misturada à gasolina (23% etanol) em todo território nacional.

3.3 Balanço energético

No caso da produção de etanol a relação obtida foi de 9,35:1, o que significa que para cada 1,0 MJ de energia fóssil consumida se produz 9,35 MJ de energia total, ou 8,35 MJ de energia renovável, na forma de etanol da cana.

4. Emissões de gases de efeito estufa (GEE's) na produção e conversão da cana de açúcar em etanol

Uma molécula do gás metano (CH_4) na atmosfera tem um potencial de efeito-estufa 21 vezes maior do que a de CO_2 , enquanto uma molécula de óxido nitroso (N_2O) apresenta um potencial 310 vezes maior (IPCC, 2006).

Pequenas emissões de GEEs (CH_4 , CO_2 e N_2O) durante a fabricação dos insumos e combustíveis fósseis, utilizados nas operações agrícolas e de processamento da cana para produzir etanol, podem contribuir significativamente para o efeito estufa.

Ainda, os resíduos do processamento industrial, como a vinhaça e a queima da palha, podem ser fontes de emissões significativas de CH_4 . As emissões mais importantes de N_2O são esperadas pela aplicação no solo de fertilizantes nitrogenados, tortas e outras fontes de nitrogênio.

Metano e óxido nitroso são produzidos em pequenas quantidades na combustão de petróleo, óleo diesel e outros combustíveis como carvão mineral.

Produção de gases para produzir 1 GJ de energia

1. Na combustão de petróleo:

- CO_2 : 73,3 kg;
- CH_4 : 0,003 kg;
- N_2O : 0,00006 kg.

2. Derivada de óleo diesel e carvão mineral ["coking coal"]:

- CO_2 : 74,1;
- CH_4 : 0,003 kg
- N_2O : 0,00006 kg
- CO_2 : 94,6 kg
- CH_4 : 0,001 kg
- N_2O : 0,0015 kg

Fonte: IPCC (2006)

Uma importante fonte de metano é a queima de resíduos agrícolas. Como a maioria da área da cana no País é ainda conduzida sob queima da palhada para facilitar a colheita manual, esta emissão é muito significativa.

Variedades de cana diferem muito na quantidade de folhas senescentes presente na hora da colheita. Num estudo conduzido na Embrapa Agrobiologia, encontrou-se que a média:

- Anual da palha depositada por oito variedades comerciais de cana durante um ciclo completo (cana-planta mais socas) variou de 10 a 18 toneladas MS por hectare.
- Produção da cana (colmos frescos) foi de 72,2 toneladas por hectare.

Utilizando estas médias, concluiu-se que no Brasil são depositados por hectare 16,4 toneladas de palha seca pela cultura anualmente ou 6,56 toneladas de C por hectare.

Como só 83% da área canavieira nacional é colhida de cada usina a cada ano (cinco colheitas em seis anos) a média de palha queimada por ano (se toda a colheita nacional for realizada após a queima) é de 13,5 toneladas de palha ou 5,23 tonelada C por hectare.

Como não existem dados específicos para a queima da cana quanto as emissões de CH_4 e N_2O , os fatores de emissão fornecidos pelo IPCC (2006), para a queima de resíduos agrícolas foram utilizados. Estes fatores estabelecem que para cada tonelada de matéria seca de cana-de-açúcar, queimada com uma eficiência de 80%, são produzidos 2,7 quilos de metano e 0,07 quilo de N_2O .

Outras emissões de N_2O têm origem nas fontes de N adicionadas à cana no campo. Inicialmente no plantio, adiciona-se N presente na torta de filtro, aproximadamente 5,5 gramas de N por kg torta seca. Se 10 toneladas por hectare da torta de filtro são adicionadas no sulco, isso constitui uma adição de 58 quilos por hectare no plantio, ou 9,2 quilos de N por hectare/ano.

Anualmente, parte do N retorna ao solo na palha (ao redor de 30 kg N por hectare), mas se a palha é queimada, o N é perdido e ocorre emissão de N_2O , conforme mencionado anteriormente. Finalmente, existe a adição do N fertilizante, estimada em 57 quilos N por hectare por ano.

O fator de emissão do IPCC (2006) indica que 1% do N adicionado ao solo é emitido na forma de N_2O . Utilizando este fator, as emissões de N_2O do N adicionado na torta de filtro e fertilizante totalizam 0,66 quilo de N ou 1,04 quilo de N_2O por hectare ano.

Não existem ainda dados sobre a emissão de CH_4 ou N_2O da vinhaça. As doses de vinhaça variam de 80 a 150 metros cúbicos por hectare por ano podendo chegar a 200 m^3 , que carregam consigo significativa quantidade de material orgânico e nutrientes.



Trabalhos calcularam que 80 m^3 de vinhaça continham em quilos: 93 de K, 35 de S, 23 de N, e 8 de P, mas a composição é muito variável. Como a vinhaça frequentemente contém ao redor de 1 a 2% de carbono solúvel, e a água da lavagem da cana também é contaminada com algo de açúcar, isso poderia resultar em emissões de CH_4 e N_2O .

Toda a vinhaça produzida na usina é distribuída nas lavouras de cana-de-açúcar por fertirrigação, chegando até os locais de aplicação por canais abertos.

Emissões realizadas e emissões evitadas de gases de efeito estufa, GEE (CO_2 , N_2O e CH_4) durante as etapas de produção e distribuição de etanol de cana-de-açúcar

Etapa de produção	Gás estufa emitido por hectare ano			
	CH_4	N_2O	CO_2	CO_2 eq.a
	g de CH_4 ou N_2O		kg	
Plantio da cana (b)	+ 8,9	+ 1,8	+ 718,0	+ 719,1
Manejo da cultura (c)	+ 2,7	+ 1.362,9	+ 86,9	+ 509,5
Colheita (d)	+ 17.017,1	+ 631,4	+ 315,0	+ 1493,5
Produção de etanol (e)	+ 3.413,3	-	+ 107,6	+ 304,7
Distribuição do etanol (f)	-	-	-	+ 217,3
Emissão total de GEE fóssil				+ 3.244,1
Uso combustível do etanol (g)	-	-	- 9.580,6	- 9.580,6

(a) Cada mol de N_2O e CH_4 é considerado como equivalente a 310 e 21 moles de CO_2 , respectivamente (IPCC, 2006). Valores positivos se referem a emissões, valores negativos se referem a emissões evitadas.

(b) Maquinário e diesel (50% do total), transporte, mão-de-obra (20% total), herbicidas, calagem, fertilização, e operações de plantio.

(c) Maquinário e diesel (10% do total), mão-de-obra (20% total), inseticidas, irrigação e emissões do solo derivadas do fertilizante e da vinhaça (80 metros cúbicos por hectare).

(d) Maquinário e diesel (40% do total), mão-de-obra (60% total), emissões de resíduos após queima da palhada para colheita de 60% da área e transporte.

(e) Instalações da usina, destilaria, processamento e emissão de CH_4 da vinhaça nos canais de distribuição, assumindo-se que 0,2% do C existente na vinhaça (~16 quilos por metro cúbico) se reduzem à CH_4 .

(f) Assumindo que uma distância média de 500 quilômetros entre as usinas e postos de combustível, via distribuidores.

(g) Assumindo que o etanol (teor de C de 52%) é completamente queimado.

A temperatura da vinhaça recém-produzida se aproxima dos 100°C e vai esfriando no canal de distribuição. A produção de metano pode ocorrer na fase termofílica (mais ou menos 60°C) e na mesofílica (mais ou menos 40°C), sendo a última mais ativa.

Após a aplicação da vinhaça na lavoura não se espera emissão de CH₄ do solo, ao menos que condições anaeróbicas ocorram por várias horas. Ainda não existem estudos que permitam estimar possíveis emissões de CH₄ dos canais de distribuição, e considerou-se que um valor arbitrário de 0,2% do carbono contido na vinhaça é emitido como CH₄.

Nesse caso, a emissão de CH₄ ficou estimada por hectare em 2,56 quilos ou 197,1 quilos de equivalentes em CO₂.

As emissões de N₂O foram estimadas com base na metodologia do IPCC (2006), uma vez que não existem dados disponíveis sobre o processo no Brasil. De acordo com a metodologia, 1% do N aplicado é emitido como N₂O. Considerando-se que aplicam-se 80 m³ de vinhaça no campo, contendo por hectare 20 quilos de N, são perdidos anualmente 314 gramas de N₂O, ou 97,3 quilos de equivalentes CO₂.

Recentemente, a equipe da Embrapa Agrobiologia, em cooperação com colegas do Campus Leonel Miranda da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, em Campos dos Goytacazes, RJ, iniciou um estudo para avaliar as emissões de N₂O após a aplicação da vinhaça no campo.

Apesar da grande frequência das chuvas na região durante o período do estudo (novembro 2008 a janeiro 2009) as emissões foram menores do que 1% do N existente na vinhaça. Entretanto, neste documento, o valor utilizado foi de 1% de N na vinhaça.

Para fazer um balanço de todas as emissões dos três GEEs, toda energia utilizada na produção de etanol da cana (fases agrícola e industrial) foi convertida em emissões equivalentes de CO₂ fóssil.

Como a energia utilizada para a produção de herbicidas, inseticidas e toletes vêm de uma grande diversidade de fontes, foi utilizado a conversão de MJ para CO₂ assumindo os fatores de emissão para petróleo ("crude oil") do IPCC (2006). A energia embutida nas máquinas agrícolas e da usina foi contabilizada como se fosse a mesma para fabricação de aço (energia fornecida por carvão mineral). O combustível para tratores foi contabilizado como óleo diesel.

Emissões de CO₂ do calcário aplicado na agricultura foram calculadas utilizando o fator de 0,75 (IPCC, 2006).

As emissões em equivalentes de CO₂ para a atmosfera na fabricação dos fertilizantes foram calculadas baseando-se nos fatores recomendados por Kongshaug (1998):

- 1 quilo de uréia: 0,61
- 1 quilo de superfosfato simples: 0,17
- 1 quilo de cloreto de potássio 0,34

As emissões de CO₂ derivadas do uso de energia fóssil predominam no plantio da cana, devido à utilização de máquinas agrícolas para realizar a preparação do solo e abertura de sulcos de plantio e transporte dos insumos.

Durante o crescimento da cultura há emissões significativas de N₂O devido às aplicações de N como fertilizante ou de fontes orgânicas (vinhaça e tortas), constituindo 80% das emissões totais em equivalentes de CO₂ nesta fase.

Na colheita, a queima da cana é responsável por grandes emissões de CH₄ e N₂O, que totalizam 982,3 quilos e 195,3 quilos de equivalentes do CO₂, respectivamente, para 60% da área colhida com queima, totalizando 39% de todas as emissões de GEEs no processo de produção de álcool.

5. Mitigação das emissões de GEEs na substituição do diesel ou gasolina convencional por bioetanol da cana

Recentemente, um estudo francês compilou resultados de três trabalhos independentes que avaliaram os ciclos de vida e emissões de gases estufa associados às indústrias de combustíveis fósseis baseados no petróleo, e de biocombustíveis.

Com algumas diferenças pontuais, os três estudos apontaram que, na produção e distribuição de gasolina e óleo diesel (análise do tipo *cradle-to-tank*), as emissões de gases de efeito estufa ficam na média de 12 e 10,7 gramas em equivalentes CO₂, respectivamente, para cada MJ de energia contida nestes combustíveis.

Isso significa que, ao chegar ao posto de combustível e mesmo antes da combustão, 1 litro de gasolina já emitiu para a at-

Produção de CO₂ por automóvel caminhonete (S10 cabine simples) com motores de potência semelhante que rodam com diesel, gasolina pura, gasolina brasileira (misturada com 23% etanol) e etanol puro de cana-de-açúcar. Emissões de CO₂ evitadas com a substituição da gasolina pura pela gasolina brasileira e pelo etanol

Modelo	Motor	Combustível	Km/L	Potência Máxima	GEEs emitido kg CO ₂	Emissão evitada (%)
S10 cab simples	2.8 turbo	Diesel	13,5	140 CV	29,69	-
S10 cab simples	2.4 flex	G pura	10,4	411 CV	35,10	0
S10 cab simples	2.4 flex	G br (E 23%)	9,5	141 CV	28,62	18
S10 cab simples	2.4 flex	Etanol (cana)	7,2	147 CV	6,92	80

José Marcos



atmosfera 507 gramas de CO_2 . Do mesmo modo, 1 litro de óleo diesel antes de ser totalmente transformado em energia nos motores já emitiu 510,4 gramas de CO_2 .

Adicionando o equivalente do CO_2 emitido na combustão desses combustíveis, 1 litro de gasolina emite um total de 3,65 quilos de equivalentes CO_2 e 1 litro de diesel a 4,01 quilos de equivalentes CO_2 .

De forma hipotética, tal fato nos permite realizar uma comparação direta entre dois veículos semelhantes, produzidos no Brasil pela mesma companhia, equipado com motor:

- Diesel: Caminhonete S 10 cabine simples, motor 2.8 Turbo Diesel, 140 cv de potência máxima;
- *total flex* S 10 cabine simples, motor 2.4, *Flexpower* 141 cv com gasolina e 147 cv com álcool.

A caminhonete equipada com motor diesel apresenta consumo médio de 13,5 km por litro (ponderada, 55% cidade e 45% estrada); e a caminhonete com motor *total flex* percorre 10,4 ou 7,2 quilômetros para cada litro de gasolina ou álcool, respectivamente.

Utilizando os valores fornecidos pelo próprio fabricante, em uma viagem de 100 quilômetros o veículo a diesel libera 29,69 quilos de CO_2 equivalente para a atmosfera. Isso corresponde aos gases de efeito estufa emitidos pela indústria na extração, refino, processamento e transporte associados ao combustível, somados a todo o gás carbônico produzido na queima, no motor. O veículo *flex* que utilizasse gasolina pura emitiria, no mesmo trajeto, 35,10 quilos de CO_2 .

Já para este mesmo veículo *flex* rodando com etanol, a média de consumo é de 7,2 quilômetros por litro. Assim, nos mesmos 100 quilômetros percorridos, há o gasto de aproximadamente 13,9 litros de combustível.

Com base nos dados de emissão total de gases de efeito estufa derivados do investimento de energia fóssil para produção de cana no modelo atual, queimando-se a palha da cultura em aproximadamente 60% da área. Assim, este automóvel emitiria um total de 6,92 quilos de equivalentes CO_2 . O número corresponde a 5,1 vezes menos do que se rodasse com gasolina pura, o que representa uma mitigação de 80% na emissão de gases de efeito estufa.

Nas condições reais, onde se acrescenta até 23% de etanol à gasolina nacional, o veículo emitiria aproximadamente 28,6 kg de CO_2 equivalente. Isto significa que a gasolina no padrão brasileiro emite aproximadamente 18% menos gases de efeito estufa do que a gasolina comercializada em outras partes do mundo onde não há adição de álcool.

No mesmo percurso, o veículo a álcool emitiu aproximadamente 77% menos CO_2 do que o veículo de mesma potência rodando com óleo diesel, e 76% menos que o veículo com gasolina brasileira (com 23% de etanol).

Também é pertinente e ilustrativo calcular a possibilidade de mitigação de GEEs (emissões evitadas) por 1 hectare plantado com a cana. Considerando-se o rendimento de um carro a gasolina (10,4 quilômetros por litro) e a álcool (7,2 quilômetros por litro), significa que 6.500 litros de álcool (a produção

média nacional por hectare,) faz um carro andar da mesma forma que 4.500 litros de gasolina, uma distância de 46.800 quilômetros.

Utilizando os valores das emissões estimadas em equivalentes de CO₂ mostradas na tabela da página anterior, a caminhonete consumindo gasolina emite 16.425 quilos de equivalentes CO₂ para a atmosfera. Esta mesma caminhonete andando com etanol de cana para a mesma distância emite somente 3.244 quilos de equivalentes CO₂. A diferença entre os dois valores (13.180 quilos de equivalentes CO₂) representa o dióxido de carbono sequestrado (ou emissão evitada) por 1 ha de cana utilizada para a produção de etanol, quando é usado em substituição à gasolina convencional (não misturada com etanol).

6. O impacto nas emissões de GEEs da mudança da colheita manual de cana queimada para a colheita mecanizada de cana crua

Devido às pressões políticas exercidas por organizações não-governamentais e agências ambientais, há um movimento forte que busca acabar com a queima da cana-de-açúcar antes do corte para facilitar a colheita manual.

Os prejuízos à qualidade do ar e ao sistema respiratório humano pela fumaça e fuligem emitidas no processo da queima estão bem documentados na literatura. Esta poluição atmosférica afeta principalmente crianças e idosos.

O movimento contra a queima da cana é especialmente intenso no estado de São Paulo, onde a legislatura estadual apro-

vou uma lei no ano de 2003 que determina a eliminação total do processo de queima da cana para colheita até o ano de 2022. Somente para o caso de terras com declive maior do 12%, onde a colheita mecânica é evidentemente inviável, é que a queima será permitida até 2032.

A mudança da colheita manual de cana queimada para a colheita mecanizada de cana crua tem grandes implicações sociais, porque uma colheitadeira realiza o trabalho de 80 a 100 cortadores de cana.

Entretanto, no que diz respeito às emissões de GEEs, esta alteração tem duas consequências principais:

1. A colheita de cana crua elimina a emissão dos gases metano e N₂O, que totalizam 1.719 quilos CO₂ por hectare, mas também reduz a emissão derivada da mão-de-obra em mais de três vezes. Em compensação a máquina colhedora de cana corta 70 toneladas de cana por hora, mas consome 40 litros de diesel no mesmo período.

Além da eliminação da poluição atmosférica com fumaça e fuligem, apesar do consumo pesado da máquina cortadora, a eliminação da queima diminui em quase 80% as emissões totais de GEEs que ocorrem na colheita.

2. A manutenção da palha no terreno preserva os nutrientes, especialmente N e S, mantém bons níveis de umidade e protege a superfície do solo contra a erosão.

Há um estudo de longo prazo iniciado em 1983, pela equipe da Embrapa Agrobiologia na Usina Cruangi, em Timbaúba, na Zona da Mata em Pernambuco. O trabalho mostrou que nas áreas onde a palha foi preservada, após 16 anos de cultivo, o rendimento de colmos foi em média 25% maior (58 toneladas por hectare) do que nas áreas onde a cana foi queimada para colher 46 toneladas por hectare.

Essa região é marginal para o plantio de cana-de-açúcar devido à variação sazonal e anual na quantidade de chuva. O maior

Comparação das emissões (por hectare) de gases efeito estufa nos sistemas de colheita manual da cana queimada e da colheita mecanizada da cana crua

Fonte da Emissão	Emissão			
	Gramas por hectare		Quilos por hectare	
	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ fóssil	Total (CO ₂)
Colheita manual, cana queimada				
1. A queima da cana				1.865,1
2. Mão de obra e transporte	28.350 (a)	735 (b)	-	327,6
TOTAL	-	-	327,6	2.192,7
Colheita mecanizada, cana crua				
1. Combustível colheitadeira				142,1
2. GEEs na colheitadeira	5,7	1,1	141,5	5,1
3. Mão de obra e transporte	-	-	5,1	151,5
4. Mineralização dos resíduos	-	-	151,5	146,1
TOTAL	-	471,4	-	444,8

(a) As emissões de metano (CH₄) pela queima seguiram a metodologia do IPCC, utilizando-se uma produção de resíduos (palha) de 13,1 toneladas por hectare, obtida de experimentos realizados no Brasil, com uma eficiência de queima de 80% e fator de emissão de 2,7 quilo CH₄ por tonelada de resíduo queimado, os dois últimos, valores default para cana-de-açúcar (IPCC, 2006).

(b) A mesma metodologia para o cálculo das emissões de CH₄ pela queima foi usada para as emissões de óxido nitroso (N₂O), porém o fator de emissão foi de 0,07 quilo N₂O por tonelada resíduo queimado; valor default para cana-de-açúcar (IPCC, 2006).

efeito benéfico da preservação da palha foi em anos com menos chuvas. No final do experimento avaliaram-se os estoques de carbono no solo, encontrando-se se uma tendência para que os estoques até 60 cm de profundidade fossem incrementados em 2,5 toneladas de C após 16 anos.

Os autores sugeriram que a pequena diferença entre os estoques de C do solo sob a cana queimada e cana crua foi devida a três renovações do canavial, processo que envolve a intensa mecanização do solo, como mencionado anteriormente.

Existe outro experimento de longo prazo conduzido pelo Departamento de Solos da UFRRJ em cooperação com Embrapa Agrobiologia em Linhares (ES). Seu resultado mostra que, depois de 14 anos, a preservação da palhada teve pouca influência no rendimento da cana, sendo que foram obtidos rendimentos médios de 80 toneladas por hectare, quando a palha foi colhida crua e 78 toneladas por hectare a cana foi queimada. Neste caso, o canavial não foi renovado durante os 14 anos, mas, novamente, a diferença em estoques de carbono no solo (até 100 centímetros) sob os dois sistemas não foi significativa estatisticamente, embora a diferença tenha sido de 13 toneladas de C por hectare.

Os dados indicam que a manutenção da palhada promove apenas pequenos incrementos nos estoques de C do solo, em comparação ao sistema de colheita com queima da palhada.

Nos dois estudos, todas as colheitas foram manuais, o que não reflete a transformação real do que está gradativamente acontecendo no Brasil, ou seja, a mudança da colheita manual da cana queimada para a colheita mecanizada de cana crua.

Uma equipe da Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz (USP, Piracicaba, SP) desenvolveu um estudo detalhado das quantidades de palhada depositadas no sistema de cana crua, e a influencia nos estoques de C no perfil do solo em dois experimentos comparando com o manejo de queima do canavial, implantados em dois sítios na região de Ribeirão Preto (SP).

O acúmulo de palha após quatro anos sem queima foi de 3,6 a 4,5 toneladas de matéria seca (1,6 a 2,0 toneladas de C por hectare), sendo detectado um aumento de aproximadamente 1 tonelada de C por hectare ano no perfil do solo onde a palha foi preservada, em comparação com as parcelas que foram queimadas.

Entretanto, o estudo foi de curto prazo, sem a renovação do canavial, e os estudos realizados na Embrapa Agrobiologia sobre o seqüestro de carbono no solo, dentre outros, indicam que a preservação da palha é capaz de promover um aumento de C no solo entre 0,2 e 0,9 tonelada por hectare por ano para os primeiros dez ou 15 anos após a conversão do manejo de cana queimada para cana crua.

Após esse tempo, o sistema se aproxima do equilíbrio entre entrada de resíduos no solo e decomposição (emissão de CO₂), e a taxa de acúmulo anual de C no solo é reduzida.

7. O impacto nas emissões de GEEs da expansão da área da cana-de-açúcar para produzir etanol

A área ocupada com a cultura de cana-de-açúcar vem crescendo rapidamente no País, passando de cerca de 6 milhões de hectares em 2006 para 9,4 milhões de hectares plantados em 2009 (IBGE, 2009).

A rápida expansão da cultura foi motivada por uma expectativa de aumento de consumo interno de álcool combustível e também das exportações desse produto em função dos altos preços internacionais do petróleo em 2008.

Apesar da crise financeira global, que fez despencar o preço do petróleo de US\$ 140 o barril para o patamar de US\$ 40 a 50 em menos de seis meses, acredita-se que a tendência de aumento de demanda pelo etanol de cana-de-açúcar não deverá ser muito afetada.

Existe forte pressão internacional para que combustíveis renováveis ganhem volume na matriz energética em função do aquecimento global.

Apesar do grande potencial do etanol de cana em mitigar emissões de gases de efeito estufa em substituição a gasolina, existe forte preocupação relacionada à forma como se dará a expansão da cultura.

De acordo com a Conab, para a safra 2008/09, o País tem cerca de:

- 50 milhões de hectares do território ocupados com lavouras temporárias e permanentes;
- 172,3 milhões de hectares com pastagens em 2006, uma pequena queda em relação a 1996, quando foram contabilizados 177,7 milhões de hectares. A estatística sobre as pastagens não é muito freqüente, sendo disponibilizada pelo IBGE a cada cinco ou dez anos.

No estado de São Paulo, principal produtor de cana-de-açúcar do País, as estatísticas sobre uso da terra (IBGE), mostram que:

- De 1970 a 2006, a área de florestas se manteve relativamente estável, com queda na área de pastagens e aumento nas áreas de lavouras (figura 1a).
- Com relação à área plantada com a cultura de cana-de-açúcar, foi onde houve maior expansão, com 1,3 milhões de hectares a mais em 2007 do que em 2001 (figura 1b), sendo a taxa de crescimento maior no período 2005-2007.
- No período de 2005 a 2007, a área de soja e milho (primeira safra) encolheu 345 mil hectares, sendo as áreas de citros e café praticamente inalteradas. No mesmo período, a área de cana-de-açúcar expandiu-se em 805 mil hectares, sugerindo que a expansão da cultura ocorreu principalmente em áreas de pastagens, mas também sobre áreas de lavouras.

Estudos mostram que a mudança de uso do solo sob pastagens para lavouras de cana-de-açúcar, colhida crua, leva a um incremento nos estoques de C do solo entre 0,1 a 0,9 tonelada de C por hectare ano, dependendo do grau de degradação dos solos, podendo-se abstrair um valor médio de 0,5 tonelada de C por hectare ano (1,8 tonelada de CO₂ por hectare ano).

A princípio, com base na informação disponível, considerou-se aqui que a mudança de pastagens para lavouras de cana-de-açúcar com colheita após queima não implica em mudanças significativas nos estoques de C do solo.

No caso da mudança de áreas de lavouras de grãos para a cultura de cana-de-açúcar, são raras as informações disponíveis, mas certamente as alterações nos estoques de C do solo dependerão da forma de preparo do solo das lavouras e da rotação de culturas utilizada anteriormente.

Tipicamente no Brasil, a soja é a cultura principal da safra de verão, sendo a cada três a cinco anos rotacionada com a cultura do milho. Assim, é razoável considerar que 75% das áreas de lavoura de grãos são ocupadas com soja e 25% com milho. Estima-se que dessa área de grãos, aproximadamente 50% seja conduzida em sistema plantio direto (FebrapDP, 2009).

A entrada da cultura da cana em áreas sob plantio direto não deve alterar os estoques de C do solo, desde que colhida crua. A utilização da cana-de-açúcar em áreas onde se pratica o preparo convencional do solo deve aumentar os estoques de C do solo numa taxa semelhante ao que aconteceria nas pastagens (0,5 tonelada por hectare ano), embora não existam trabalhos de pesquisa publicados sobre essa situação.

Para avaliar o impacto da mudança de uso do solo, é im-

portante considerar também as emissões de N₂O e CH₄, gases decorrentes do manejo das culturas. Os dados apresentados até aqui permitem estimar um total de 2.919 quilos de equivalentes CO₂ por hectare ano emitidos pelo cultivo da cana-de-açúcar, devendo-se ainda somar a esse número o efeito sobre os estoques de C do solo na mudança de uso do solo.

No caso da soja, as emissões de gases de efeito estufa associadas à cultura surgem do uso de adubos (P, K e micronutrientes) e corretivos de solo, herbicidas e pesticidas, e as operações mecânicas para plantio, tratos culturais, colheita e armazenamento de grãos, tudo isso consumindo cerca de 11 GJ por hectare. Isso, em termos de petróleo, significa 808,5 quilos de CO₂ emitidos por hectare para a atmosfera (1 GJ de energia de petróleo produz ~ 73,5 quilos de equivalentes CO₂).

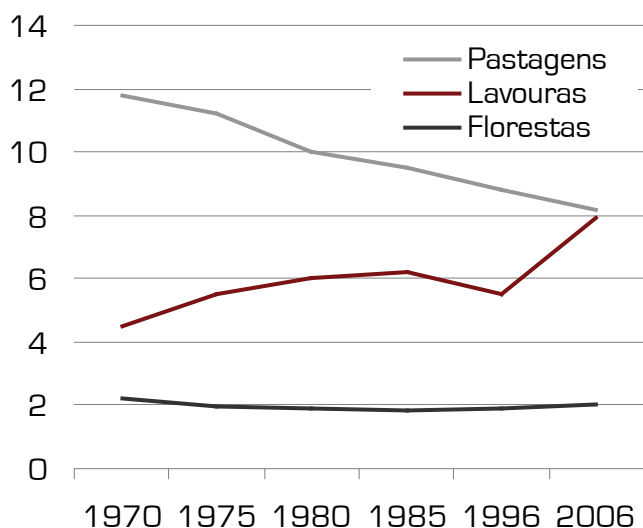
Ainda ocorrem emissões de N₂O do solo devido à decomposição dos cerca de 35 quilos de N por hectare contido nos resíduos de colheita, que correspondem a 0,55 kg N₂O por hectare ano, ou 1% do N do resíduo (IPCC, 2006). No total, a produção de soja emite aproximadamente 979 quilos de CO₂ por hectare safra.

Para a cultura do milho, aproximadamente 40% da área cultivada pertence aos grandes produtores, e a quantidade de energia gasta com mecanização, transporte, mão-de-obra e insumos, sem contar o uso de nitrogênio, é de aproximadamente 12 GJ por hectare ou 882 quilos de equivalentes CO₂.

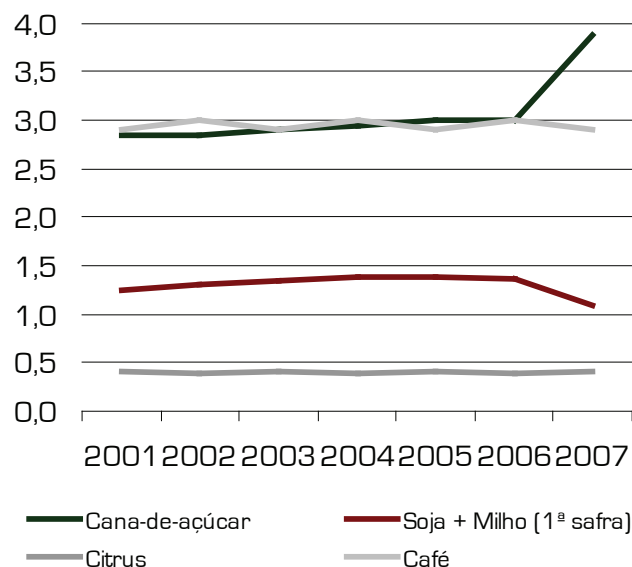
Para pequenos produtores, são atividades comuns o preparo de solo, uso de calcário e mão-de-obra, assumindo-se assim um gasto de energia de 2 GJ por hectare, ou uma emissão de 147 quilos de CO₂ por hectare. Dessa forma, considerando-se as proporções entre grandes e pequenos produtores, a produção

Estado de São Paulo: alterações no uso agrícola da terra

A. Flutuação nas áreas totais de pastagens, lavouras e florestas (milhões de hectares)



B. Ocupação das áreas agrícolas com as principais culturas



de milho produz cerca de 440 quilos de CO_2 por hectare, sem considerar o uso de N fertilizante.

Os grandes produtores aplicam em média 80 quilos de N por hectare de fertilizante, e os pequenos produtores praticamente não usam esse insumo. Dessa forma, pode-se dizer que em média 30 quilos de N por hectare são aplicados na cultura do milho, que somente pelas etapas de fabricação, processamento, transporte e aplicação, produzem em média, 135 quilos de CO_2 por hectare.

O total de N que retorna nos resíduos varia de 30 a 40 quilos de N por hectare, mas considerando-se a contribuição das raízes, poderia chegar a 50 kg N por hectare. Isso implica em um total de emissões de N_2O do solo de 0,8 quilos de N- N_2O por hectare, ou 390 quilos de equivalentes CO_2 por hectare ano. Todo o processo de produção de milho produz cerca de 966 quilos de CO_2 por hectare safra.

Em áreas de pastagens as emissões de N_2O ocorrem pela deposição de excretas dos bovinos e aplicação de fertilizantes, embora esta última fonte seja utilizada somente na formação das pastagens, e em uma proporção muito pequena da área total do País.

Assim, é muito provável que a maioria da área de pastagens que vem sendo convertida na lavoura de cana-de-açúcar deva ser de uso extensivo, tipicamente sem aplicação de fertilizante nitrogenado e com uma carga animal média de aproximadamente 0,7 U.A. por hectare.

Em estudo feito pela Embrapa Agrobiologia, encontrou-se uma emissão de N_2O da urina de 217 gramas de N por hectare ano para 1 U.A., e que nas condições tropicais as perdas de N_2O das fezes são praticamente nulas. Utilizando-se esses números, pode-se dizer que as pastagens estariam emitindo 239 gramas de N_2O por hectare ano, ou 74 quilos de equivalentes CO_2 por hectare ano.

1. Considerando o dado médio de emissão de metano ruminal por bovinos criados em pastos de braquiária, de 119 gramas por 0,7 U.A. dia, ou o equivalente a 2.508 quilos de equivalentes CO_2 por hectare ano, o total de gases emitidos do solo e animal seria de 2.582 quilos de equivalentes CO_2 por hectare por ano. Em áreas experimentais de pastagem, no Cerrado, foi calculado um gasto de energia de 742,51 GJ em sanidade, nutrição e transporte de animais.

Utilizando esses resultados como base para a o presente estudo, pode-se considerar uma produção de aproximadamente 260 quilos de equivalentes CO_2 para manutenção da pastagem. No total, estima-se uma emissão de 2.842 quilos de equivalentes CO_2 da área de pastagem considerada neste estudo.

Assim, quando 1 hectare de lavoura (50% plantio direto no sistema soja-milho) passa a ser ocupada por cana-de-açúcar (40% da área colhida crua), ocorrem emissões de gases de efeito estufa do solo de aproximadamente 1,58 tonelada CO_2 hectare ano.

Ao contrário, no caso de 1 hectare de pastagem ser substituído por 1 hectare de cana-de-açúcar (40% da área colhida crua),



Verônica Massena Reis

seriam evitadas emissões ao redor de 0,64 tonelada de equivalente CO_2 por hectare ano. Considerando-se o uso da cana para produção de etanol, e que o mesmo é usado em substituição à gasolina convencional (sem mistura de etanol), as emissões evitadas pelo plantio da cana em áreas de pastagens são maiores que 13,2 toneladas de CO_2 por hectare ano. No caso de plantios em áreas de grãos, o benefício ainda é muito elevado, acima de 11 tonelada de equivalente CO_2 por hectare ano.

Esses cálculos foram baseados nos modelos de pastagens, lavouras de grãos e de cana-de-açúcar anteriormente discutidos, e certamente vão mudar em função de alterações nas formas de manejo dos sistemas, no entanto, a tendência é a de que sempre haverá mitigação expressiva de emissões de CO_2 .

Luís Henrique de Barros Soares – luis.henrique@cnpab.embrapa.br
 Bruno José Rodrigues Alves – bruno@cnpab.embrapa.br
 Segundo Urquiaga – urquiaga@cnpab.embrapa.br
 Robert Michael Boddey – bob@cnpab.embrapa.br