



Biocombustível, o Mito do Combustível Limpo

Arnaldo Alves Cardoso, Cristine de Mello Dias Machado e Elisabete Alves Pereira

Este artigo apresenta aspectos ambientais relevantes sobre a produção e o uso do biocombustível, principalmente o álcool, desmistificando a denominação de combustível limpo utilizada, em especial, pelos meios de comunicação, quando se refere a esse tipo de combustível. O artigo procura também mostrar o quanto é importante conhecer os princípios básicos de química, especialmente a química do nitrogênio, para compreender e discutir os destinos da economia do país.

► biocombustível, etanol, combustível limpo ◀

Recebido em 11/6/07, aceito em 27/03/08

Combustível limpo, verde ou ecologicamente correto são formas como os meios de comunicação se referem ao biocombustível e, mais especificamente, ao álcool. O aspecto ambiental positivo destacado na imprensa sobre o uso de biocombustível faz com que ele se apresente ao leitor como algo benéfico ao ambiente. Criou-se um verdadeiro mito, uma idéia falsa sem correspondente na realidade. No entanto, por que o biocombustível, e em especial o álcool, ganhou essa fama de benéfico ao meio ambiente? Quais as qualidades que fazem a imagem de “bom moço” do biocombustível? Por que ele é o único combustível sempre tratado como limpo, ecologicamente correto, não poluente e outros adjetivos, que deixaram o usuário sem remorso de usar o carro mesmo que seja para passear com o cachorro? Dentro desse contexto ambiental, outra questão está sendo feita: o Brasil deve assumir o papel de grande produtor mundial

Combustível limpo, verde ou ecologicamente correto são formas como os meios de comunicação se referem ao biocombustível e, mais especificamente, ao álcool.

de biocombustíveis? Respostas para essas questões requerem conhecimento técnico para subsidiar a discussão. Entretanto, é importante que um grande número de pessoas participe da discussão, já que os possíveis benefícios e os prejuízos podem afetar grande parte da população. Conhecer os diferentes aspectos da questão é fundamental neste momento tão delicado para o nosso país, que está construindo o seu futuro, e para o planeta, que vive uma expectativa com a iminência de uma mudança global no clima e que pode comprometer o futuro da população mundial. A participação nas discussões sobre o destino da nação é a garantia da nossa cidadania, e a discussão fundamentada sobre questões globais é importante para assegurar a sobrevivência da nossa espécie como habitante do planeta Terra.

No momento que fontes alternativas de energia são fundamentais para produção do combustível necessário

para manter em funcionamento diversos equipamentos criados pela tecnologia para facilitar a vida do homem, o conhecimento químico mostra sua relevância. A produção de novos combustíveis para gerar energia é uma das áreas de atuação da Química. E também é o conhecimento químico que permite antever possíveis problemas ambientais resultantes de produção, transporte e uso desses combustíveis. A relevância do conhecimento químico básico é mostrada aqui como essencial para entender a questão agora feita neste início de século: qual a real vantagem de se usar o biocombustível? Quais os riscos decorrentes da sua produção e utilização para o ambiente?

Para pesquisadores da área de Química Ambiental, infelizmente o álcool e o biodiesel ainda estão longe de serem considerados combustíveis limpos, e usar estes significa que continuamos emitindo poluentes para atmosfera e poluindo nossos rios, cidades, campos e florestas. Além disso, o fato de nos tornarmos um grande produtor de biocombustível, para minimizar o aquecimento global, pode resultar em prejuízos ambientais

para o país. A maioria da população não está sendo alertada que pode ter que pagar pelos estragos resultantes da produção de biocombustível em larga escala. Este artigo tem como objetivo discutir aspectos ambientais gerais sobre o uso e a produção de biocombustível.

Entendendo o papel ambiental do biocombustível

Para entender o papel ambiental do biocombustível limpo, precisamos recordar o conceito de ciclos dos elementos. Em nosso planeta, alguns elementos químicos estão sendo constantemente transformados, mudando de fases e migrando entre os diversos compartimentos (solo, águas superficiais, atmosfera e a biota). O ciclo mais fácil de entender e constatar é o da água. Aquela chuva que você tomou na estrada no percurso da volta da praia foi formada pela evaporação da água do mar onde você nadou horas atrás. O mesmo acontece com o carbono: o seu metabolismo interno está produzindo gás carbônico (CO_2) que é levado pelo sangue aos pulmões. Na expiração, o dióxido de carbono é emitido para a atmosfera onde pode ser arrastado pelo vento e finalmente coletado por uma folha e, após o processo de fotossíntese, se transformar em parte de uma árvore. Parte do gás também pode se dissolver na água do mar e virar sedimento no fundo do oceano. Esse ciclo de materiais é conhecido como ciclo biogeoquímico, isso porque o elemento se transforma formando compostos que em um momento podem fazer parte da biota e, em outro, da crosta terrestre. A contabilização da quantidade de material que entra e a que sai em um compartimento de um ciclo é conhecido como balanço de material. A alteração da quantidade de material presente em um dos compartimentos de um ciclo biogeoquímico interfere no meio ambiente, isto é, tanto na parte viva (bio) quanto na inanimada (geo), e é uma forma conceitual para entender a poluição por componentes químicos.

Sob o aspecto ambiental, podemos dizer que o uso do biocombus-

tível pouco interfere no ciclo biogeoquímico do carbono, ciclo esse que está intimamente relacionado com a homeostase do planeta, mais conhecido como efeito estufa. O carbono emitido para atmosfera, durante a queima do biocombustível na forma de dióxido de carbono, volta a se fixar novamente no vegetal durante o seu crescimento pelo processo da fotossíntese. O balanço de carbono é igual a zero para atmosfera e, portanto, estamos deixando de poluir o ambiente. Quando o petróleo é retirado em grande quantidade das profundezas da terra e queimado na forma de um combustível, o carbono é jogado na atmosfera e se acumula, já que o processo de retirada do dióxido de carbono da atmosfera não foi modificado. Comparando os dois combustíveis, sob o aspecto de contribuição de carbono para atmosfera, podemos dizer que o combustível proveniente do petróleo apresenta um balanço positivo para atmosfera, enquanto que o biocombustível apresenta um balanço igual a zero. Dessa maneira, o biocombustível é mais conveniente para o ambiente e considerado um combustível limpo com relação ao balanço de carbono para a atmosfera. No passado recente, os meios de comunicação usavam a denominação de combustível renovável para o álcool combustível. Essa forma mais conveniente é como o linguajar técnico classifica esse tipo de combustível. O termo renovável significa que a matéria-prima, a biomassa, se renova a cada safra como produto da fotossíntese que é um processo que envolve a transformação do gás dióxido de carbono, água e luz solar produzindo a estrutura vegetal da cana-de-açúcar. O conceito de renovável é mais conveniente porque ele facilita o entendimento do balanço igual a zero para o carbono na atmosfera.

Para continuar a análise do alcance do termo combustível limpo, precisamos pensar nos outros elementos envolvidos na formação da biomassa. Enxofre, nitrogênio, fósforo e potássio são os principais elementos envolvidos no processo do crescimento de um vegetal. Estes são os macrocons-

tituintes dos vegetais e devem ser incorporados anualmente ao solo na forma de adubos. Como resultado do processo de adubação, já não existe mais a condição de balanço igual a zero para esses elementos. Reforçamos assim a idéia de que o conceito de combustível limpo se restringe ao elemento carbono. No entanto, qual a relevância ambiental de um balanço diferente de zero para um elemento? Dentre os quatro macroconstituintes dos vegetais que possuem balanço positivo no ciclo biogeoquímico, o nitrogênio é o que merece maior atenção ambiental.

O nitrogênio e a produção de biocombustível

Diferentemente dos problemas ambientais de caráter global, como o buraco da camada de ozônio e o aquecimento global, os compostos de nitrogênio afetam o ambiente em escala local ou regional e isso significa diferentes palcos de discussões. Enquanto que, no primeiro caso, o risco global requer fórum de discussão patrocinado por organizações internacionais, que já produziram acordos como o protocolo de Montreal e o protocolo de Kyoto, no segundo caso, a ação local da poluição requer conscientização e mobilização de forças regionais nem sempre ativas. Essa diferença de tratamento geralmente resulta em dois fatos bastante comuns: as questões ambientais globais ganham maior visibilidade nos meios de comunicação em detrimento de problemas ambientais locais não menos relevantes, além disso os prejuízos ambientais provenientes de efeitos globais podem ser cobrados de uma forma mais justa entre os causadores e os prejudicados. Esse é o objetivo do conceito de crédito de carbono criado para que grandes emissores de carbono para atmosfera financiem países com programas de conservação de carbono, preservando-o, por exemplo, na forma de florestas. Quando se busca uma solução ambiental, é fundamental conhecer com qual extensão ocorre o problema para saber como conduzir debates e de quem cobrar a solução. Problemas ambientais locais

exigem leis de controle e de aplicação local. Já questões globais merecem a formulação de tratados com acordos assinados por representantes de governos de nações.

O ciclo biogeoquímico do nitrogênio já foi muito afetado pela ação do homem. Atualmente o ser humano já dobrou a quantidade de nitrogênio ativo no ambiente. O nitrogênio ativo é aquele com atividade química e biológica e possui potencial para modificar as propriedades físicas do ambiente ou da biota. O nitrogênio ativo não pode ser confundido com o gás nitrogênio (N_2) que é o principal componente da atmosfera e é considerado inerte. O nitrogênio ativo é responsável por provocar problemas ambientais locais e regionais como a chuva ácida, a contaminação de águas e ainda com grande potencial para afetar a biodiversidade de florestas naturais. Como o nitrogênio ativo pode se apresentar na forma de gases (NO , NO_2 , N_2O e NH_3) ou compostos solúveis na água (NH_4^+ e NO_3^-), sua ação não está limitada ao local onde foi produzido. Muitas vezes, os gases de nitrogênio ativo se depositarão a centenas de quilômetros do local onde foi formado.

Quando ocorre a formação ou o transporte não intencional de compostos de nitrogênio ativo que afetam o ciclo biogeoquímico do nitrogênio? Os principais mecanismos são: a) arraste pela água de chuva do nitrogênio contido em adubos; b) ação de microorganismos no solo, transformando parte do adubo aplicado em gases; c) produção de nitrogênio ativo por bactérias existentes em raízes de leguminosas que transforma o nitrogênio inerte do ar em nitrogênio ativo; d) formação de gases nitrogenados como produto da combustão de qualquer combustível.

A cultura da cana-de-açúcar atua direta ou indiretamente nos quatro mecanismos de formação e dispersão de nitrogênio ativo no ambiente. O processo se inicia quando cerca de 100 kg por ano de fertilizantes nitrogenados são adicionados ao solo por hectare na cultura da cana-de-açúcar. Parte do fertilizante é usado pelas plantas no processo de crescimen-

to, mas parte é perdida, arrastada pela água de chuva para os rios ou transformada em gás pelos microorganismos e liberado para atmosfera. Para recuperar o solo no intervalo da safra de cana, é plantado o amendoim ou a soja que abrigam em suas raízes bactérias que transformam o nitrogênio inerte em nitrogênio ativo. Qualquer combustão que ocorra em presença de ar atmosférico (cerca de 78% de nitrogênio e 21% de oxigênio) gera calor que favorece a reação química que combina o nitrogênio inerte com oxigênio e gera nitrogênio ativo (NO e NO_2). A queima da palha de cana, só no estado de São Paulo, emite por ano cerca de 46 mil toneladas de nitrogênio ativo para a atmosfera (Machado e cols., 2008). Esse nitrogênio ativo foi produzido pela queima de folhas de cana que contêm nitrogênio na sua estrutura e também pelo calor gerado que converte o nitrogênio do ar em NO . Entretanto, a produção de nitrogênio ativo não se limita ao local da produção da cana-de-açúcar. Como o álcool servirá de combustível em uma máquina de combustão interna, quantidades adicionais de nitrogênio ativo serão geradas nesse processo. Segundo dados da CETESB, em 2005, na região metropolitana da cidade de São Paulo (1.747 km² e mais de 17 milhões de habitantes), foram emitidos cerca de 330 mil toneladas por ano de gases NO_x (NO e NO_2), dos quais 95,8% foram emitidos pelos veículos em circulação. Só considerando os processos de combustão utilizados pela sociedade moderna como principal forma de obter energia, é possível entender porque o homem afetou tanto o ciclo biogeoquímico do nitrogênio.

A água é um importante meio de dispersão de nitrogênio no ambiente, graças à alta solubilidade dos seus compostos. Parte do adubo adicionado ao solo para as diversas culturas vegetais e que é arrastado pelas águas da chuva acaba tendo como destino final corpos d'água diversos. Para agravar o problema, muitos rios e lagos já carregam compostos de nitrogênio dissolvidos proveniente de esgotos domésticos (tratados ou

não). O excesso de nitrogênio ativo na água favorece o crescimento de grandes quantidades de algas e plantas que se aproveitam dessas águas "adubadas". Essas águas, com excesso de vegetais, conhecidas como eutrofizadas, apresentam diversos problemas ambientais. Algas em excesso podem produzir compostos tóxicos para os peixes e animais, e o simples fato de que esses vegetais, em um dado momento, morrerão e apodrecerão pode resultar em um decréscimo da qualidade da água. Mesmo rios e lagos que estão a algumas centenas de quilômetros de uma região produtora de cana-de-açúcar ou de uma grande cidade estão recebendo nitrogênio ativo, já que eles são alcançados pelo nitrogênio ativo carregado pela água ou transportado na forma de gás pela atmosfera. Processo similar pode ocorrer em florestas preservadas e até bem isoladas. O nitrogênio ativo que é transportado pela atmosfera e se deposita no solo é bem aceito por algumas espécies vegetais que crescem com maior vigor do que outras. É quando a biodiversidade é afetada.

Os compostos de nitrogênio fazem parte ativamente da química da atmosfera, participando de várias transformações que ocorrem no seu interior. O dióxido de nitrogênio (NO_2) presente na atmosfera é transformado em ácido nítrico, formando a chuva ácida, que modifica o pH do solo e das águas com conseqüências ambientais já conhecidas. O dióxido de nitrogênio tem também a propriedade de catalisar reações atmosféricas em presença de luz solar, as quais formam, entre outros, o ozônio (O_3). Esse composto que filtra as radiações solares quando presente na alta atmosfera, região conhecida como camada de ozônio, é um grande vilão quando formado na baixa atmosfera, região onde vivemos. Ele é altamente tóxico a animais e plantas e ataca diversos materiais como borracha e pigmentos. Medidas da concentração de ozônio, feitas por nós na região produtora de cana-de-açúcar de Araraquara (SP), mostram que os valores alcançados na época

de safra da cana são próximos ao de um grande centro poluído como São Paulo.

A queima da palha da cana emite, além do NO e NO₂, outros gases e muito material particulado. Já a queima do álcool combustível em motores emite também formaldeído e acetaldeído que são vapores tóxicos, mas por outro lado emite menos monóxido de carbono, dióxido de enxofre e material particulado que os derivados do petróleo. Esse é outro aspecto positivo do álcool no ambiente, já que esses três últimos poluentes juntos possuem grande peso na composição do índice de poluição do ar medido por agências de controle nas grandes cidades. Quanto à emissão do nitrogênio ativo, nenhuma diferença faz o tipo de combustível utilizado, já que os gases NO e NO₂ são sempre emitidos. Pelo aspecto da Química Ambiental, para chamar o álcool ou outro biocombustível de combustível limpo, é necessário esconder muita sujeira debaixo do tapete.

O fato relevante é que a utilização de qualquer combustível em processo de combustão afeta o meio ambiente, seja ele um biocombustível ou um combustível fóssil. Não existe combustão ambientalmente limpa. Todo usuário de combustível precisa conhecer este fato. No caso do uso do biocombustível, o usuário não está contribuindo para o aquecimento global, mas “apenas” para poluição local e regional. O único combustível limpo é aquele que não foi gasto e sequer produzido, porque economizar combustível ainda é a melhor forma de minimizar efeitos no ambiente. Para os habitantes das regiões produtoras, somam-se também os encargos de arcar com os prejuízos ambientais da produção do biocombustível que, como já discutido, nada tem de limpo. Portanto, a região produtora e seus vizinhos a algumas centenas de quilômetros poderão possivelmente ter de arcar com esse ônus. Seria justo pagar

uma conta local pela produção do biocombustível para minimizar o efeito estufa, um problema global? O entendimento da questão é importante já que nada mais justo do que cobrar uma taxa ambiental dos países que utilizam o biocombustível como ressarcimento para reparar danos ambientais ocorridos nas regiões produtoras. Isso não significa que deveremos ser contra o biocombustível, mas que devemos estar alertas a possíveis conseqüências

O excesso de nitrogênio ativo na água favorece o crescimento de grandes quantidades de algas e plantas que se aproveitam dessas águas “adubadas”.

negativas da produção e do uso desse tão importante combustível. É também relevante considerar que a necessidade do biocombustível pelos países desenvolvidos é resultado do pouco caso que esses grandes usuários de combustível deram no passado aos avisos do aquecimento global. Nada mais justo que eles paguem a conta agora.

Para saber mais sobre os compostos de nitrogênio no ambiente

Conhecer o quanto o homem perturbou o ciclo natural do nitrogênio por adição de compostos de nitrogênio é fundamental para estimar qual é sua contribuição para o aumento da poluição. Com esse objetivo, é construído o modelo do ciclo biogeoquímico contabilizando as quantidades dos principais compostos de nitrogênio presentes em cada um dos compartimentos. Nessa construção, é necessário determinar quanto e quais compostos de nitrogênio existem em ambientes pouco afetados pelo homem. A quantidade e o tipo de composto varia muito de um local para outro e é inviável fazer medidas em todas as regiões do planeta. Com isso, são feitas algumas medidas em alguns locais. Posteriormente, as quantidades de compostos de nitrogênio presentes em ambiente de países, continentes ou do planeta

O aumento da disponibilidade de nitrogênio ativo pode favorecer algumas espécies naturalmente controladas e afetar todo equilíbrio do ecossistema natural.

são então estimadas como médias de alguns poucos valores. Essa é a razão por que são apresentados os valores por faixas, isto é, o menor e o maior valor estimado. Em uma segunda etapa com um procedimento similar, deve-se estimar o quanto o homem fixou de nitrogênio de forma intencional com a produção de fertilizantes ou de forma não intencional como os compostos produzidos por processos de combustão ou fixados por vegetais utilizados na agricultura. O cálculo da quantidade de nitrogênio fixada de forma intencional é bastante precisa: basta contabilizar a produção de fertilizantes. Já fixada indiretamente é difícil de ser medida em larga escala e assim também é estimado globalmente por uma média de alguns poucos valores. Como resultado, é comum ser encontrado na literatura valores diferentes para os compostos presentes no ciclo calculados por diferentes autores ou de épocas diferentes.

Na ausência de atividades humanas, os processos naturais de fixação de nitrogênio que ocorrem no ecossistema terrestre produzem cerca de 90-130 Tg de N por ano (Tg = 10¹²g). Ecossistemas marinhos fixam entre 40-200 Tg de N por ano, sendo que pouco desse nitrogênio é transportado para o ecossistema terrestre, resultando em pequena influência dos compostos nitrogenados marinhos no ecossistema terrestre. Atualmente, as atividades humanas

como produção de energia por processos de combustão, produção de fertilizantes e algumas culturas de vegetais (leguminosas, arroz, alfafa) contribuem com a fixação de 150 Tg de N por ano. A perturbação das atividades humanas no ciclo natural do nitrogênio no ecossistema terrestre é bastante significativa, já que mais que dobrou a quantidade natural de nitrogênio fixada. Isso é uma evidência de que várias regiões do nosso planeta já estão seriamente comprometidas com o excesso de nitrogênio ativo.

Processos de fixação de nitrogênio

Todo organismo necessita de nitrogênio para viver e crescer. Ele é um dos componentes majoritários do DNA, do RNA e das proteínas. Apesar da grande quantidade de nitrogênio existente no planeta, apenas 0,02% está disponível para vida. O restante encontra-se incrustado em rochas ou na atmosfera na forma de N_2 . A difícil quebra da tripla ligação existente entre os átomos de nitrogênio (N_2) requer grande quantidade de energia, não o deixando disponível para os organismos. Para ser utilizado, o nitrogênio precisa estar em uma forma mais acessível, combinado com o hidrogênio na forma de amônio, NH_4^+ , com o oxigênio na forma de nitrato, NO_3^- , ou com o carbono na forma de uréia, $(NH_3)_2CO$. O processo para transformar o gás N_2 em nitrogênio ligado com C, H ou O é conhecido como fixação de nitrogênio. Em ambientes naturais, a pouca disponibilidade de nitrogênio reativo pode ser uma forma de controle do crescimento de vegetais e acúmulo de biomassa, o que é importante para manter a biodiversidade. O aumento da disponibilidade de nitrogênio ativo pode favorecer algumas espécies naturalmente controladas e afetar todo equilíbrio do ecossistema natural, tais como o existente em uma floresta.

Os processos de fixação de nitrogênio podem ser naturais ou resultantes da interferência do homem.

Processos Naturais

Fixação de nitrogênio por vegetais

Algumas bactérias possuem a capacidade de fixar o nitrogênio do ar e esse é o principal processo natural de fixação de nitrogênio. Essas bactérias vivem em simbiose ancoradas em raízes de leguminosas da família dos feijões e a alfafa. O melhor exemplo de simbiose é o que ocorre entre as leguminosas e as bactérias do gênero *Rhizobium*. Ambas conseguem sobreviver independentemente, porém, quando associadas, conseguem fixar o nitrogênio e o benefício é de ambas. Algumas cianobactérias (bactérias

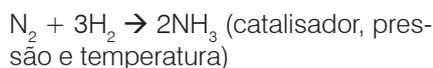
que fazem fotossíntese) que vivem em campos alagados, em especial onde se produz arroz, também podem fixar o nitrogênio. Outras poucas bactérias fixadoras vivem no solo. A estimativa de quanto é fixado pelas bactérias é muito difícil já que o tipo de solo e as condições do ambiente influenciam no processo. Como resultado do cultivo induzido de leguminosas e arroz pelo homem, a melhor estimativa sugere que sejam fixados pelo processo entre 32- 53 Tg de N por ano.

Raios e vulcões

Os raios, durante as tempestades, cortam a atmosfera e produzem o óxido de nitrogênio. Estima-se que a produção anual por esse processo é da ordem de 3-5 Tg de N por ano. Os vulcões atualmente representam uma fonte menor do nitrogênio fixado: pouco menor que 0,02 Tg N por ano.

Fixação industrial

Atualmente a produção de fertilizante nitrogenado é feita industrialmente por um processo químico que usa o nitrogênio do ar como matéria-prima. É o processo conhecido como Haber-Bosch que transforma o nitrogênio do ar em amônia sob ação de catalisador, alta pressão e temperatura. A amônia pode ser posteriormente oxidada e transformada em nitrato, NO_3^- .



A produção de fertilizante dobrou a cada oito anos entre 1950 e 1973. Dobrou novamente em 1990 chegando a cerca de 80 Tg de N por ano. Com a quebra da economia da antiga União Soviética, a produção chegou a ter um pequeno decréscimo entre 1990 e 1995. Novamente voltou a crescer com a demanda provocada pelo fortalecimento da economia da China. Para se ter uma idéia do crescente uso de nitrogênio comparado com a população mundial, entre 1950 e 1990, a quantidade de nitrogênio distribuído por habitante passou de 1,3 para 15 kg de N por pessoa. Neste momento, é importante uma reflexão: o adubo

é fabricado por indústrias que transformam o nitrogênio inerte do ar em nitrogênio ativo. A adição intencional de nitrogênio ativo no tão abalado ciclo biogeoquímico do nitrogênio tem sido justificada como necessária para produção de alimentos e que se contrapõe a possíveis conseqüências ambientais resultantes do uso de adubo químico. No entanto, uma coisa é justificar combater a fome, outra é produzir combustível.

Fixação por processo de combustão

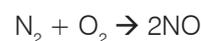
a) materiais que possuem na sua composição compostos de nitrogênio quando queimados produzem como produto principalmente óxido de nítrico (NO). Esse gás na atmosfera é oxidado e forma o dióxido de nitrogênio (NO_2).



Os radicais OH presentes na atmosfera, formados pela luz do Sol, reagem com o dióxido de nitrogênio para produção de ácido nítrico, HNO_3 .



b) o calor produzido por qualquer combustão faz com que o nitrogênio (N_2) presente na atmosfera sofra reação com o oxigênio (O_2), formando óxido de nítrico (NO). Isso é possível porque a composição majoritária em volume da atmosfera é de 78% de nitrogênio e 21% de oxigênio.



A quantidade do óxido nítrico formada depende da eficiência da combustão, ou seja, do calor gerado. O processo de combustão é a principal fonte de energia do homem. A média diária de energia gasta por um homem que vive em condições primitivas, isto é, na condição de caçador/coleto é de 5.000 kcal por dia. O homem que dispõe de toda tecnologia ao seu alcance gasta de energia cerca de 230.000 kcal por dia.

Desnitrificação

O processo pelo qual o nitrogênio volta à atmosfera é conhecido como desnitrificação. O processo envolve o metabolismo anaeróbico quando o nitrato (NO_3^-) é reduzido para nitrogênio (N_2) ou óxido nitroso (N_2O), que são gases e retornam o nitrogênio para atmosfera. O processo é comum e ocorre em regiões anaeróbicas do planeta como fundo de lagos, oceanos e solos.

O esquema do ciclo do nitrogênio

Um modelo para entender o mecanismo de transporte e transformação dos compostos de nitrogênio é apresentado na forma de esquema na Figura 1. É possível visualizar de forma integrada os principais processos de emissão, dispersão, transporte e mudança de fase dos compostos de nitrogênio no ambiente.

Considerações finais

É importante destacar que este artigo não é contra o uso e a produção de biocombustível, mas uma reflexão sobre como ele tem sido apresentado pelos meios de comunicação como

uma possível justificativa de sua produção e uso. Toda produção e utilização de um material em larga escala pelo homem, resultam em danos ambientais e o fato de conhecermos o problema é importante para utilização do material com cuidado que ele merece. Hoje em dia é mais fácil convencer o consumidor a economizar água pelo aspecto ambiental que econômico. É isto que esperamos que ocorra com o biocombustível. A conscientização também é necessária para a construção de uma política para produção e uso de biocombustível que devem ser feitas com base no conhecimento do problema e não apenas em cima de pressões econômicas.

Acreditamos que discussão sobre biocombustível é um exemplo de tema que pode ser abordado na sala de aula de uma forma integrada com outras disciplinas. O tema energia pode ser discutido pela Física, as transformações pela Química, os ciclos biogeoquímicos pela Biologia, ocupação de solo pela Geografia, ciclos econômicos pela História. Outros temas não abordados no artigo podem ser incluídos como: conseqü-

ências da substituição do uso de mão de obra pela mecanização, a cadeia produtiva da cana de açúcar e a geração de riqueza, a importância de novas tecnologias para produção de biocombustível. O tema instigante do biocombustível e energia será um dos problemas mais significativos para homem durante todo este século XXI e a escola não pode ficar a margem desta discussão.

Araldo Alves Cardoso (acardoso@iq.unesp.br), bacharel e licenciado em Química, doutor em Química pela USP, pós-doutorado pela Universidade TexasTech, é docente do Instituto de Química – UNESP-Araraquara. **Cristine de Mello Dias Machado** (cristine.dias@gmail.com), bacharel, licenciada e mestre em Química pela Universidade Federal do Amazonas – UFAM, é doutora em Química pela UNESP. **Elisabete Alves Pereira** (ealves@power.ufscar.br), bacharel e mestre em química pela UNESP-Araraquara, doutora em Química pela USP, é docente na Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, campus Sorocaba.

Referências

- MACHADO, C.M.D.; CARDOSO, A.A. e ALEN, A.G. Atmospheric emission of reactive nitrogen during biofuel ethanol production. *Environmental Science & Technology*, V. 42, p. 381-385, 2008.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Nitrogen Oxides*. 2 ed. Geneva, p. 117, 1997.

Para saber mais

- BAIRD, C.; *Química Ambiental*, Porto Alegre: Bookman, 2002.
- CARDOSO, A.A.; ALEN, A.G. e ROCHA, G.O. Influence of agricultural biomass burning on aerosol size distribution and dry deposition. *Environmental Science & Technology*, v. 39, p. 5293-5301, 2005.
- FINLAYSON-PITTS, B.J. e PITTS Jr., J. *Chemistry of the upper and lower atmosphere*. [S.L.]: Academic Press, 2000.
- GRUBER, N. e GALLOWAY, J.N. An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature*, v. 451, p. 293-296, 2008.
- MOREIRA, F.M.S. e SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2 ed. Lavras: UFLA, 2006.

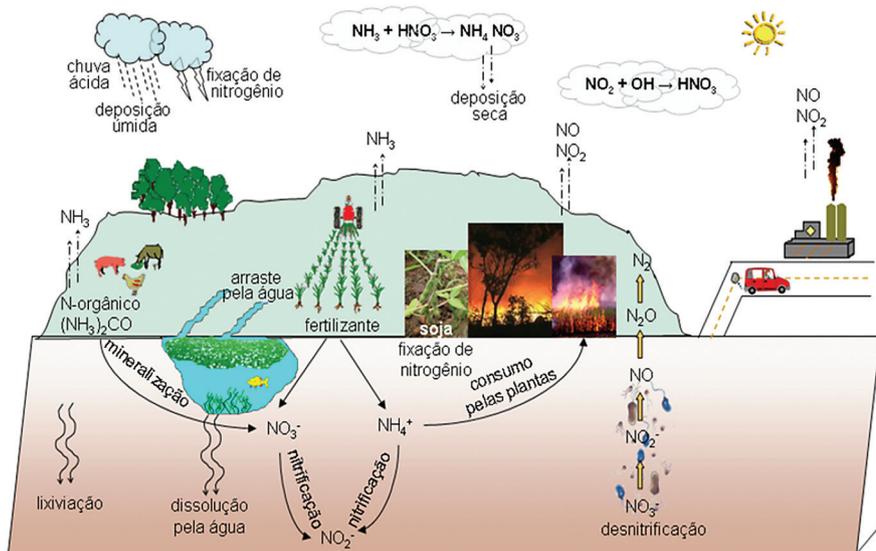


Figura 1: Esquema do ciclo biogeoquímico do nitrogênio com as principais rotas de emissões, transporte, transformações e mudança de fase dos compostos de nitrogênio no ambiente [adaptado de World Health Organization (1997)].

Abstract: *Biofuel, the Clean Fuel Myth*. This article presents relevant environmental aspects of the production and use of biofuel, especially ethanol, demystifying the term "clean fuel", especially when used the media in referring to this type of fuel. The article also tries to show how knowledge of chemical principles is vital in order to understand and discuss the implications for the economy and the country.

Keywords: biofuel, ethanol, clean fuel