

O ciclo do Nitrogênio

[José Tadeu Garcia Tommaselli](#)

O nitrogênio faz parte da estrutura do [DNA](#), RNA e das proteínas, que são os blocos básicos da construção da vida. Todos os organismos precisam de nitrogênio para viver e crescer.

Embora a maior parte do ar atmosférico seja o nitrogênio molecular N_2 (78%), ela não está disponível para ser utilizada pelos organismos. Isto acontece por causa de uma ligação química tripla muito forte entre os átomos do nitrogênio atmosférico (N_2) que o torna praticamente inerte (não reage quimicamente com os demais elementos).

Entretanto, na natureza, as plantas e os animais precisam consumir nitrogênio, o que é feito transformando (combinando) o nitrogênio em formas assimiláveis pelos organismos, tais como: amônia (NH_4^+), nitratos (NO_3^-) ou nitrogênio na forma orgânica (por exemplo, uréia $[NH_2]_2CO$).

Esta natureza inerte do N_2 implica em baixa disponibilidade biológica de nitrogênio para os ecossistemas naturais o que limita o crescimento das plantas e a acumulação de biomassa.

O nitrogênio é um elemento de extrema versatilidade, pois pode existir tanto nas formas orgânicas como inorgânicas, assim como em vários estados de oxidação. O movimento do nitrogênio entre a atmosfera, biosfera e geosfera nas suas diferentes formas é denominado [ciclo do nitrogênio](#). Assim como os demais ciclos, o ciclo de nitrogênio também tem seus reservatórios e seus fluxos e processos pelos quais o nitrogênio troca de reservatório.

O ciclo de nitrogênio representa interesse por que sua disponibilidade pode afetar a taxa de desenvolvimento de alguns ecossistemas fundamentais, incluindo a [produção primária](#) e a [decomposição](#). As atividades humanas, tais como queima de combustíveis fósseis, uso de fertilizantes nitrogenados artificiais e a liberação de nitrogênio nas águas residuais alterou substancialmente o ciclo global de nitrogênio, o que levou a uma [escalada na fixação do nitrogênio](#).

O nitrogênio é reciclado através da biosfera, atmosfera e geosfera por intermédio de cinco processos fundamentais: fixação de nitrogênio; absorção de nitrogênio (crescimento dos organismos); mineralização do nitrogênio (decaimento); nitrificação e denitrificação.

Módulo 2 - Disciplina 3

Ciclos da natureza e dinâmica da paisagem

Os microorganismos, em particular, as bactérias, têm o papel mais importante nos processos de transformação no nitrogênio ([veja imagem](#)).

As transformações do nitrogênio tendem a ser bem mais rápidas que os processos geológicos, pois elas são processos mediados por microorganismos. A velocidade desses processos será determinada pelos fatores ambientais que influenciam a atividade microbiana, tais como: temperatura, umidade e disponibilidade de recursos.

1 – Fixação do nitrogênio

O processo pelo qual o nitrogênio molecular (N_2) é convertido em amônia (NH_4^+) é denominado *fixação de nitrogênio*. Este processo é essencial, pois a amônia é a única forma de nitrogênio que os organismos conseguem obter nitrogênio diretamente da atmosfera. Entretanto há um gênero de bactérias (*Rhizobium*) que conseguem fixar nitrogênio por processos de seu próprio metabolismo. Essas bactérias são comuns na família das leguminosas (feijão, ervilha) e estão alocadas nos nódulos das raízes. Em troca do nitrogênio que elas fixam e passam para as plantas, recebem carboidratos e um ambiente favorável, num tipo de relação conhecida como simbiótica. Também existem bactérias que fixam nitrogênio sem necessidade de um hospedeiro, como por exemplo, as cianobactérias (ou alga verde-azulada) presentes em ambiente aquáticos como fixadoras de nitrogênio auto suficientes.

Outra possibilidade de fixação de nitrogênio é a sua decomposição da forma molecular (N_2) para a forma atômica (N). Mas esse processo demanda grande quantidade de energia para quebrar as ligações altamente estáveis do N_2 . Na natureza, os fenômenos que geram tais níveis de energia são as descargas elétricas atmosféricas (raios), os incêndios em grande escala e até mesmo a lava dos vulcões. Embora o processo de fixação não seja eficiente, a grandeza de escala desses fenômenos gera quantidades substanciais de nitrogênio livres (N), prontamente disponíveis para as reações e transformações químicas.

Durante o último século, os humanos passaram a ser uma fonte importante de nitrogênio fixado assim como um agente de combinação de todas as fontes naturais, através da queima de combustíveis fósseis, utilização de fertilizantes nitrogenados sintéticos e cultivo de leguminosas. As estimativas mais recentes indicam que, por intermédio dessas atividades, os humanos mais que dobraram a quantidade de nitrogênio fixado que é “bombeado” para a biosfera.

Módulo 2 - Disciplina 3

Ciclos da natureza e dinâmica da paisagem

2 – Absorção do nitrogênio

Depois que a amônia é produzida pelas bactérias fixadoras de nitrogênio, ela é, via de regra, rapidamente incorporada na forma de proteína e outros compostos orgânicos nitrogenados ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{N}$ orgânico), tanto pela planta hospedeira, como pela própria bactéria fixadora ou como por outros organismos do solo. Quando os organismos mais próximos do topo da cadeia alimentar (como o humanos, por exemplo) comem, eles estão fazendo uso de nitrogênio que foi fixado, inicialmente, pelas bactérias fixadoras de nitrogênio.

3 – Mineralização do nitrogênio

Depois que o nitrogênio passa a fazer parte da matéria orgânica (incorporado) ele é, frequentemente, convertido de volta em nitrogênio inorgânico, através de um processo denominado *mineralização do nitrogênio* (N orgânico $\rightarrow \text{NH}_4^+$), conhecido também por *decaimento*. Quando os organismos morrem, os decompositores (bactérias e fungos) consomem a matéria orgânica, o que leva ao processo de decomposição. Durante esse processo, uma quantidade significativa de nitrogênio, contida nesse organismo morto, é convertida em amônia (NH_4^+). Uma vez nessa forma, o nitrogênio ficará disponível para ser utilizado pelas plantas ou para posterior transformação em nitrato (NO_3^-), através do processo denominado *nitrificação*.

4 – Nitrificação

Parte da amônia produzida no processo de decomposição é convertida em nitrato por intermédio de um processo denominado nitrificação ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$).

A bactéria que executa essa reação ganha energia dela. A nitrificação demanda oxigênio, de modo que ela só pode acontecer em ambientes ricos em oxigênio, tais como escoamentos ou circulações de água e nas camadas bem superficiais dos solos e dos sedimentos.

O processo de nitrificação tem conseqüências importantes. Os íons de amônia (NH_4^+) são carregados positivamente e, portanto, se combinam com as partículas de argila e de matéria orgânica dos solos (negativamente carregadas) num processo físico denominado sorção. Essa carga positiva da amônia

Módulo 2 - Disciplina 3

Ciclos da natureza e dinâmica da paisagem

evita que ela seja lixiviada do solo pela chuva. Por outro lado, os íons nitrato (NO_3^-), carregados negativamente, não são capturados pelas partículas de argila ou matéria orgânica (também negativamente carregadas) e são, portanto, lixiviados para todo o perfil do solo, o que leva a um decréscimo da fertilidade dos solos e, na seqüência, enriquecimento em nitrato dos níveis mais profundos dos solos e das águas subterrâneas.

5 – Denitrificação

É o processo que converte as formas oxidadas de nitrogênio, tais como nitratos (NO_3^-) e nitritos (NO_2^-), em nitrogênio molecular (N_2), ou dinitrogênio, e em menor quantidade, no gás óxido nitroso (N_2O).

A denitrificação ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{N}_2\text{O}$) é um processo anaeróbico (sem a presença de oxigênio) que é executado pelas bactérias dinitrificadoras, que convertem o nitrato (NO_3^-) em nitrogênio molecular (N_2) na seqüência: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$.

Tanto o óxido nítrico (NO) como o óxido nitroso (N_2O) são gases ambientalmente importantes. O óxido nítrico contribui para a formação do *smog* (*smog* = *smoke* + *fog* = fumaça + nevoeiro) e o óxido nitroso é um gás que contribui para o efeito estufa, ou seja, contribui para o aquecimento do planeta.

Uma vez convertido em nitrogênio molecular (N_2), é pouco provável que o nitrogênio seja reconvertido a uma forma biologicamente disponível, pois ele é um gás (inerte) e é rapidamente dispersado na atmosfera.

A denitrificação é o único processo de transformação do nitrogênio que o remove dos ecossistemas (irreversível na essência) e é, na média, equivalente à quantidade de nitrogênio fixada pelos demais processos.

6 – Alteração antropogênica do ciclo de nitrogênio e as consequências ambientais

No início do século XX, foi possível pela primeira vez, produzir nitrogênio de forma química, utilizando altas temperaturas e pressões. Isto possibilitou a criação de fertilizantes que poderiam ser aplicados diretamente no solo. A expansão dessa nova tecnologia foi muito rápida e, associada ao advento

Módulo 2 - Disciplina 3

Ciclos da natureza e dinâmica da paisagem

de novas variedades de culturas comerciais, o uso dos fertilizantes nitrogenados sintéticos produziu um salto enorme na produtividade agrícola, que foi importante para alimentar a crescente população mundial. Entretanto, o aumento da fixação de nitrogênio, por causa do uso desses fertilizantes, tem várias conseqüências negativas. Embora essas conseqüências não sejam tão perceptíveis como o aumento da temperatura global ou a redução do ozônio estratosférico, elas são potencialmente perigosas e nocivas para os humanos e todos os organismos vivos do planeta.

O cultivo extensivo de leguminosas (principalmente soja e alfafa), o uso indiscriminado do processo de criação de fertilizantes químicos, poluição emitida pelos veículos e pelas indústrias fizeram com que a transferência anual de nitrogênio para formas biologicamente disponíveis mais que dobrasse. Além disso, os humanos aumentaram significativamente a transferência dos gases traço nitrogenados da superfície para a atmosfera e para os sistemas aquáticos. Essas alterações são mais intensas nos países desenvolvidos e na Ásia, onde as emissões dos veículos e das indústrias são elevadas.

Nem todo o fertilizante nitrogenado que é aplicado nos campos agrícolas irá nutrir as plantas. Uma parte significativa é levada dos campos agrícolas pela água da chuva ou da irrigação, que é lixiviada pela água superficial ou subterrânea e, o pior, pode acumular nos corpos d'água. Este excesso de compostos nitrogenados na água utilizada para beber (superficial ou subterrânea) pode resultar em câncer nos humanos ou distúrbios respiratórios nas crianças. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos estabeleceu uma concentração padrão máxima tolerável de 10 miligramas de nitratos dissolvidos por litro de água pura. Esse valor é adotado pela ONU para todo o planeta.

Infelizmente, muitos sistemas (principalmente as áreas agrícolas) já excederam este nível. Apenas a título de comparação, os níveis de nitrato nas águas ainda não alteradas pelas atividades humanas raramente são superiores a um miligrama por litro.

A adição de nitrogênio nas águas superficiais pode levar a uma condição de super-enriquecimento nutricional, principalmente nas águas costeiras que recebem influxos de rios poluídos. Este super-enriquecimento, conhecido por [eutrofização](#), é responsável por vários eventos de desastres ambientais, tais como, aumento da frequência de eventos de morte de peixes, de aumento descontrolado de algas nocivas e alteração ou troca de espécies dos ecossistemas costeiros.

As formas mais reativas do nitrogênio (por exemplo, NO_3^- e NH_4^+) contidas nas camadas mais superficiais dos solos e nas águas expostas, podem ser transportadas para a atmosfera como componente do *smog*, caso do óxido nítrico (NO) ou como gás do efeito estufa, caso do óxido nitroso (N_2O).

Módulo 2 - Disciplina 3

Ciclos da natureza e dinâmica da paisagem

O óxido nitroso ascende até a atmosfera como consequência da fertilização agrícola, da queima de biomassa, criação de gado e outras fontes industriais. O N_2O tem um efeito deletério na estratosfera, onde ele se desmembra e atua como catalisador (acelerador de reações químicas) na destruição do ozônio estratosférico (30 km de altitude). Na atmosfera, o óxido nitroso atua como gás de estufa (atualmente é o terceiro, sendo vencido apenas pelo dióxido de carbono e pelo metano). Embora não seja abundante na atmosfera, como o gás carbônico, em base de massa, o óxido nitroso é cerca de 300 vezes mais potente em sua habilidade de reter calor e, assim, contribuir para o aquecimento da atmosfera.

Eventualmente, esse nitrogênio atmosférico pode ser deslocado para ambientes terrestres muito sensíveis ao nitrogênio nessas formas e pode causar mudanças de longo prazo. Por exemplo, os óxidos nitrosos representam uma porção significativa da acidez da chuva e a morte e o declínio de algumas florestas em parte da Europa e dos Estados Unidos é atribuído à chuva ácida.

O aumento da deposição de nitrogênio atmosférico também tem sido responsabilizado por algumas alterações súbitas de espécies dominantes e funções de ecossistemas em alguns sistemas de florestas e pastagens. Por exemplo, nos solos das pastagens do norte da Califórnia, que são pobres em nitrogênio, o conjunto de plantas, historicamente, foi limitado a plantas que pudessem sobreviver sem grandes quantidades de nitrogênio. Entretanto, nos últimos tempos, há claras evidências de que os níveis elevados de nitrogênio atmosférico, importados dos conglomerados industriais e agrícolas das vizinhanças, facilitaram o processo de invasão de várias espécies alienígenas, gerando alguns distúrbios ecológicos.

Apenas para reforçar, o óxido nítrico (NO) é um dos principais fatores na formação do *smog*, que se sabe ser causador de várias enfermidades respiratórias, como asma, tanto em crianças como em adultos.

Outro grande problema ambiental, que também envolve o nitrogênio, é o processo de tratamento de esgotos, tanto das estações de tratamento como das fossas sépticas, que liberam grandes quantidades de nitrogênio para o ambiente através de descargas efetuadas sobre o solo. Para consumir este nitrogênio e outros contaminantes será necessária atividade microbiana da água residual.

Entretanto, o grande problema é que, em certas áreas, o solo não é adequado para receber esta carga presente na água residual e como consequência, esta água contaminada entra nos aquíferos. Como esses contaminantes não são transformados, eles vão se acumulando e podem chegar até a água de beber. Lembrando que os limites para a presença de nitratos na água é de 10 miligramas por litro, uma

Módulo 2 - Disciplina 3

Ciclos da natureza e dinâmica da paisagem

simples descarga de água residual de uma residência pode apresentar valores oscilando de 20 a 85 miligramas por litro, o que a inviabiliza para o consumo humano, segundo os padrões da ONU. Como já foi mencionado, o consumo dessa água representa sério risco à saúde humana.

Atualmente, muitas pesquisas estão direcionadas para se estudar os efeitos do excesso de nitrogênio no ar, na água subterrânea e na água superficial. A ciência também está explorando práticas agrícolas alternativas que possam manter alta produtividade com decréscimo dos impactos negativos causados pelo uso de fertilizantes. Esses estudos, além de auxiliar na quantificação dos níveis de alterações gerados pelos humanos no ambiente natural, também deverão aumentar o entendimento dos processos envolvidos no ciclo do nitrogênio como um todo.

Referências

BUCHANAN, G. J. *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*. Am Soc. Plant. Physiology. 2000.

Smil, V. *Cycles of Life*. Scientific American Library, New York, 2000.

CHAPIN, S.F. III, MATSON, P.A., MOONEY H.A. *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*. Springer, New York. 2002, p.345

FEMA, C. *A ação do homem no ciclo do nitrogênio*. Disponível em

<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./urbano/index.html&conteudo=./urbano/artigos/aquecimento.html>.

Acesso em 20 set 2010.