



MODELO BASEADO EM RACIOCÍNIO QUALITATIVO, TECNOLOGIA DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, PARA A REPRESENTAÇÃO DO CICLO DO NITROGÊNIO

I.G.Sá

P.S.B.A. Salles

Universidade de Brasília, Instituto de Biologia, Departamento de Ecologia, Campos Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte, 72990 - 900, Brasília - DF, Brasil. Phone number: 55 3307 - 2550-isabellagontijo@unb.br

INTRODUÇÃO

Os elementos e compostos químicos são fundamentais para os processos vitais. Os organismos vivos gastam energia para extrair compostos químicos do seu ambiente: eles os retêm e os usam por um período, para, posteriormente, perdê-los outra vez. Portanto, as atividades dos organismos influenciam profundamente os padrões de fluxo de matéria química na biosfera (Begon, 2007).

O nitrogênio gasoso proveniente da atmosfera fornece a maior parte do conteúdo de nitrogênio das comunidades. Vários tipos de bactérias e algas verdes - azuladas possuem a enzima nitrogenase e convertem o nitrogênio atmosférico em íons amônio NH_4^+ solúveis que podem depois ser absorvidos pelas raízes e utilizados pelas plantas. Todos os ecossistemas livres recebem um pouco de nitrogênio pela atividade das bactérias de vida livre, já as comunidades que possuem plantas leguminosas, cujos nódulos das raízes contêm bactérias simbiotes fixadoras de nitrogênio, podem receber assim a maior parte do nitrogênio de que necessitam.

É importante frisar que as atividades humanas colaboram para a entrada de quantidades expressivas de nutrientes para muitas comunidades. Por exemplo, as quantidades de CO_2 e óxidos de nitrogênio e enxofre na atmosfera têm aumentado devido à queima de combustíveis fósseis, bem como as concentrações de fosfato e nitrato na água corrente tem crescido pelas práticas agrícolas e pelo despejo de esgotos.

O desflorestamento tem um efeito sobre o nitrogênio dos nitratos, a saída de nitrato para os cursos de água aumenta cerca de 60 vezes após esse tipo de distúrbio. Em geral, as plantas são limitadas pelo nitrogênio com mais frequência e os micróbios são limitados pelo carbono, enquanto que os micróbios são importantes na ciclagem do nitrogênio, as plantas regulam as entradas de carbono que controlam a atividade microbiana (Knops et AL, 2002)

A fase atmosférica predomina o ciclo global do nitrogênio,

em que a fixação desse nutriente e a denitrificação por organismos microbianos são as mais importantes. As formas orgânicas de nitrogênio são também comuns na atmosfera, algumas das quais são resultantes da reação de hidrocarbonetos e óxidos de N em massa de ar poluídas. Além disso aminas e uréia de ecossistemas terrestres e aquáticos são naturalmente injetados como aerossóis e gases.

As atividades humanas têm efeito de longo alcance no ciclo do nitrogênio, em especial, o desflorestamento e a remoção da vegetação que aumentam o fluxo de nitrato na água corrente e gera perda de N_2O para a atmosfera. A prática agrícola de cultivo de leguminosas, com seus nódulos de raízes contendo bactérias fixadoras de nitrogênio, contribui adicionalmente para a fixação deste nutriente. Tais atividades também afetam a fase atmosférica do ciclo do nitrogênio. A fertilização dos solos agrícolas, por exemplo, provoca aumento do escoamento e da desnitrificação, bem como o manuseio e dispersão de estrume em áreas de pecuária intensiva liberam quantidades de amônia substanciais para a atmosfera. Esta amônia atmosférica é cada vez mais reconhecida como um poluente importante quando depositada em zonas afetadas pelos ventos procedentes das zonas de criação de gado (Sulton et AL, 1993).

O aumento do depósito de nitrogênio está associado ao processo de eutrofização de lagos e enriquecimento de N_2 em algumas comunidades, o que favorece a diminuição da riqueza de espécies.

Para o entendimento deste processo o modelo da ciclagem do nitrogênio se faz necessário para a compreensão dos mecanismos envolvidos na dinâmica de captação e incorporação do nitrogênio à biomassa viva e sua devolução para a atmosfera. Nesta dinâmica algumas alças de retroalimentação se estabelecem e a abordagem qualitativa auxilia na compreensão das propriedades e nas características desse sistema.

OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo a representação através de um modelo baseado em Raciocínio Qualitativo que demonstre os processos que são responsáveis pelo transporte do elemento Nitrogênio através dos compartimentos do ecossistema. Elucidar o fenômeno do serviço de cooperação-mutualismo-entre as plantas e as bactérias no transporte e na ciclagem de nutrientes e a interferência das atividades humanas neste processo.

O modelo foi feito com o propósito de responder às seguintes perguntas:

- (a) Quais os caminhos do nitrogênio do seu reservatório fonte para os compartimentos da natureza?
- (b) Quais processos estão envolvidos no processo de ciclagem do nitrogênio?
- (d) Como se dá interferência das atividades humanas nos caminhos do elemento nitrogênio dentro do ecossistema?

O objeto deste modelo é de interesse para a compreensão de como os solos são importantes nas intrincadas relações de trocas nos ecossistemas, principalmente nos semi - rurais. O seu uso pode ajudar tanto os pesquisadores e estudantes no esclarecimento da situação real que ele simula como também é útil para os tomadores de decisão, principalmente no tocante à intervenção e nas medidas de correção de características do solo com o uso de fertilizantes.

Presume - se que os usuários sejam os ecólogos, estudantes e os gestores de áreas com solo manipulado ou que enfrentam problemas de enriquecimento com o nitrogênio.

MATERIAL E MÉTODOS

O Raciocínio Qualitativo é uma área da Inteligência Artificial voltada para a criação de modelos e simulações que não usam dados numéricos, expressam relações de causa e efeito que contribuem para aumentar a compreensão de fenômenos. Esta técnica inovadora permite uma descrição, uma releitura não - numérica dos sistemas e do seu comportamento. É essencial no contexto educacional que haja a compreensão dos fenômenos e elucidar como se dão os diferentes comportamentos destes sistemas. É útil a compreensão do sistema, do meio onde ele opera, identificar as partes do que ele é feito, prever e explicar seus comportamentos.

Um típico modelo de RQ obtém uma representação tanto da estrutura quanto dos aspectos comportamentais do sistema. Um modelo qualitativo abstrai - se de uma informação quantitativa usando um conjunto ordenado de valores qualitativos, geralmente um conjunto de pontos alternativos e intervalos, os quais são denominados de espaços quantitativos. Quantidades são valores designados a partir de tais espaços, permitindo que se obtenha distintos aspectos comportamentais qualitativos do sistema. A mudança de comportamento é representada pelo uso de uma derivada para cada quantidade, sendo sua diminuição representada por $= [-]$, sua manutenção por $= [0]$ e seu aumento por $= [+]$. Outro aspecto importante de um modelo de RQ é a representação da causalidade, que é um aspecto típico de um modelo de RQ é a representação explícita de causalidade.

Nessa teoria de Raciocínio Qualitativo, a causalidade é representada por meio de dois primitivos de modelagem: influências diretas, que modelam os efeitos (diretos) dos processos; e proporcionalidades qualitativas, que mostram como se propagam os efeitos dos processos para outras quantidades (influências indiretas).

As influências diretas representam a dinâmica dos sistemas e são as representações dos processos que instauram mudanças no sistema. A influência direta representada por I (I+ ou I -) representa que uma taxa será adicionada num dado intervalo de tempo, ou que será subtraída. Já as proporcionalidades também tem um significado matemático e expressam uma relação de causalidade. De um modo geral a cadeia de causalidade se constrói admitindo que todas as mudanças no sistema começam com processos e podem se propagar para outras variáveis, torna - se claro como devem ser construídas as cadeias de causalidade: se um processo ocorre a uma taxa que influencia uma variável de estado e esta pode ser a influenciada indiretamente, de forma negativa ou positiva por outra variável.

O modelo objeto deste trabalho aqui descrito foi implementado com a utilização do simulador Garp3 (Bredeweg 1992). O Garp3 produz uma simulação a partir de um cenário inicial e da biblioteca de fragmentos de modelo. Isto é feito pela seleção de fragmentos de modelo da biblioteca que contém as entidades e que atendem às condições previstas no cenário inicial. A partir do cenário inicial, um ou mais estados iniciais são criados. Um estado qualitativo é uma descrição única da estrutura do sistema combinada a um conjunto especial de valores associados às quantidades de interesse, descrita por um subconjunto particular de fragmentos de modelo, Salles e Bredeweg (2003).

RESULTADOS

Existe a possibilidade de projetar geneticamente a formação de nódulos em leguminosas reduzindo assim a necessidade de fertilizantes minerais nitrogenados e a poluição resultante do enriquecimento dos sistemas naturais com o nitrogênio. A produção e utilização de fertilizantes, o cultivo de leguminosas, a queima de combustíveis fósseis depositam, em escala mundial, aproximadamente 140 Tg/ano de nitrogênio no solo, na água e no ar-quantidade quase igual às estimativas de nitrogênio fixado de forma natural. O esgoto humano e excrementos de animais domésticos contribuem com a metade desse valor. Muito pouco dessas entradas são recicladas, pois elas escapam para o solo ou cursos d'água, ou são misturadas a metais pesados e outras toxinas. O enriquecimento do ambiente por nitrogênio vem reduzindo a biodiversidade e aumentando o número de pragas e doenças no mundo, além de afetar de maneira adversa a saúde humana (ODUM, 2007).

Urge a necessidade de compreender de melhor como se dá o aporte do nitrogênio nos ecossistemas naturais e como sua ciclagem ocorre quando há interferência humana, principalmente no tocante à qualidade dos solos, sua capacidade de resiliência e de resistência para manter o serviço natural do trabalho das bactérias simbiotes na fixação do nitrogênio. É sabido que o uso excessivo de fertilizantes encerra com o processo de biofixação natural e a longo prazo este será um

sério problema ecológico. O ciclo do nitrogênio e do fósforo limitam a abundância dos organismos e a superfertilização com esses elementos tem causado sérios danos em escala global (ODUM, 2007)

CONCLUSÃO

O raciocínio e a modelagem qualitativos tem um papel fundamental no sentido de facilitar aos ecólogos a tarefa de pensar sobre problemas ou processos, obrigando sempre a extrair o essencial de sistemas complexos. Dessa forma o modelo pode proporcionar uma linguagem comum. O mais importante é a possibilidade dos modelos esclarecerem o mundo real que eles simulam. Os modelos podem exibir propriedades previamente desconhecidas do sistema a ser modelado. Os critérios para julgar se um modelo é útil é analisar a sua capacidade de descrever e simular situações reais e de ser apropriado por terceiros. Entretanto, o crucial é a adequação. A única descrição perfeita do mundo real é o próprio mundo real. Um modelo não é uma hipótese, não é uma teoria, é, em última análise, uma descrição adequada que desempenha uma função útil.

Compreender a trajetória de um determinado elemento essencial e limitante ao crescimento dos seres vivos como o nitrogênio, ajuda na compreensão da intrincada dinâmica que envolve a dependência que os organismos tem entre si para que as devidas e necessárias trocas sejam realizadas a fim de manter a vida. O ciclo de nitrogênio tem vários aspectos ainda desconhecidos e estudá-los é uma tarefa de real importância aos ecólogos. O enriquecimento artificial com nitrogênio tem dimensões realmente desconhecidas

ainda e é comprovada sua relação com a perda de biodiversidade e com o aumento de pragas e doenças no mundo. Como os seres humanos tem dificuldade de determinar quando o bastante é o suficiente, tem de haver um esforço para que haja coesão e consenso entre o capital humano e o capital natural.

REFERÊNCIAS

- Bredeweg, B. 1992. Expertise in Qualitative Prediction of Behaviour. Ph.D. Thesis. University of Amsterdam, Amsterdam, The Netherlands.
- Forbus, K. D. 1984. Qualitative process theory. *Artificial Intelligence* 24: 85 - 168.
- Salles, P. & Bredeweg, B. 1997. Building qualitative models in ecology. pp. 155-164. In: Ironi, L. (Ed.), *Proceedings of the 11th International Workshop on Qualitative Reasoning (QR'97)*. Instituto di Analisi Numerica C.N.R., Pubblicazioni no. 1036, Pavia, Italy,
- Salles, P. & Bredeweg, B. 2003. Qualitative reasoning about population and community ecology. *AI Mag.* (Winter) 24 (4):77-90.
- Salles, P., Bredeweg, B., Araújo, S. & Neto, W. 2003. Qualitative models of interactions between two populations. *AI Commun.* 16 (4):291-308.
- Salles, P., Bredeweg, B. & Bensusan, N. 2006. The ants' garden: Qualitative models of complex interactions between populations. *Ecological Modelling* 194:90-101.
- Simberloff, D. & Wilson, E. O. 1969. Experimental zoogeography of islands: the colonization of empty islands. *Ecology* 50:278 - 96.