

X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

Curitiba – PR, Brasil

23 a 25 de Novembro de 1999

Universidade Federal do Paraná - Curitiba - PR

A N A I S

Realização

Departamento de Informática
Universidade Federal do Paraná

Promoção

Sociedade Brasileira de Computação
Universidade Federal do Paraná
Comissão Especial de Informática na Educação da Sociedade Brasileira de Computação

Editor

Alexandre Ibrahim Direne

A Modelagem Semiquantitativa e o Pensamento Sistêmico sobre um Problema Ambiental¹



Arion de Castro Kurtz dos Santos, Fundação Universidade Federal do Rio Grande

Geovane Pedra Gonçalves, Fundação Universidade Federal do Rio Grande

Ives Solano Araujo, Fundação Universidade Federal do Rio Grande

Resumo: O trabalho aqui relatado objetiva promover a utilização de uma ferramenta de modelagem semiquantitativa chamada VISQ (acrônimo para Variáveis que Interação de modo SemiQuantitativo) por estudantes, em tópicos sobre problemas ambientais locais. Os resultados sugerem que, após o trabalho com VISQ, os estudantes teriam evoluído de uma visão inicial fragmentada sobre poluição para uma visão sistêmica.

1. Introdução: um programa para modelagem semiquantitativa

No projeto *Desenvolvimento e Uso de Ferramentas computacionais para o Aprendizado Exploratório de Ciências - PROFECOMP²* desenvolvemos e utilizamos com estudantes o programa VISQ que possui uma interface extremamente simples e não requer domínio de equações matemáticas. VISQ utiliza as equações de redes neurais fornecendo uma interpretação sistemática a qualquer diagrama causal, permitindo a criação de modelos semiquantitativos. VISQ trabalha considerando que cada par $X \rightarrow Y$ (X afeta Y) representa que o estado semiquantitativo, ou nível vertical de X , causa uma mudança na mesma direção (+) ou na direção oposta (-) no nível vertical de Y . Podemos observar as funções de VISQ, por exemplo, na parte superior da figura 2. O ícone da *caixa*  representa uma variável ou uma constante. Os ícones *positivo* e *negativo* \oplus \ominus representam os tipos de elos causais que conectam caixas. O ícone do *gráfico*  permite a observação de gráficos da evolução temporal de qualquer variável. É possível obter gráficos coloridos simultâneos de até seis variáveis em um modelo.

Esse artigo relata um pequeno experimento realizado com dois estudantes do ensino fundamental, com 13 anos de idade, trabalhando um total de oito horas, em quatro encontros de duas horas cada, com VISQ, onde definimos uma metodologia e algumas questões de pesquisa.

2. Questões de Pesquisa

A razão do presente trabalho surge da necessidade de se debater as questões ambientais e sociais, desenvolvendo tanto o pensamento sistêmico quanto o senso crítico em relação a problemas ambientais, através da modelagem computacional. Acreditamos que um modelo “cristaliza” momentaneamente as relações causais através de uma topologia específica, passando a existir como um mundo artificial. Esse mundo, então, transforma-se num objeto de análise que estará disponível para exploração e mesmo modificação pelos estudantes. A modelagem, dentro desta perspectiva, aparece como mais um possível componente do processo de ensino-aprendizagem.

Estipulamos três questões de pesquisa que indicam “como” e “o que”, devemos analisar nos modelos obtidos. As questões são as seguintes:

Q1 – *Como é o modelo mental que o aluno apresenta sobre determinado sistema complexo real?*

Q2 – *Pode o aluno usando a modelagem semiquantitativa, através da simulação, representar seu modelo mental e mesmo melhorá-lo no microcomputador?*

¹ Trabalho financiado pelo CNPq e FAPERGS.

² Veja <http://www.furg.br/furg/projet/profcomp>.

Q3 – Podemos propor atividades de modelagem semiquantitativa que levem o aluno a uma mudança (ou transferência) conceitual?

3. Metodologia

A seguir mostramos um fluxograma, na Figura 1, com o delineamento de nossa pesquisa.

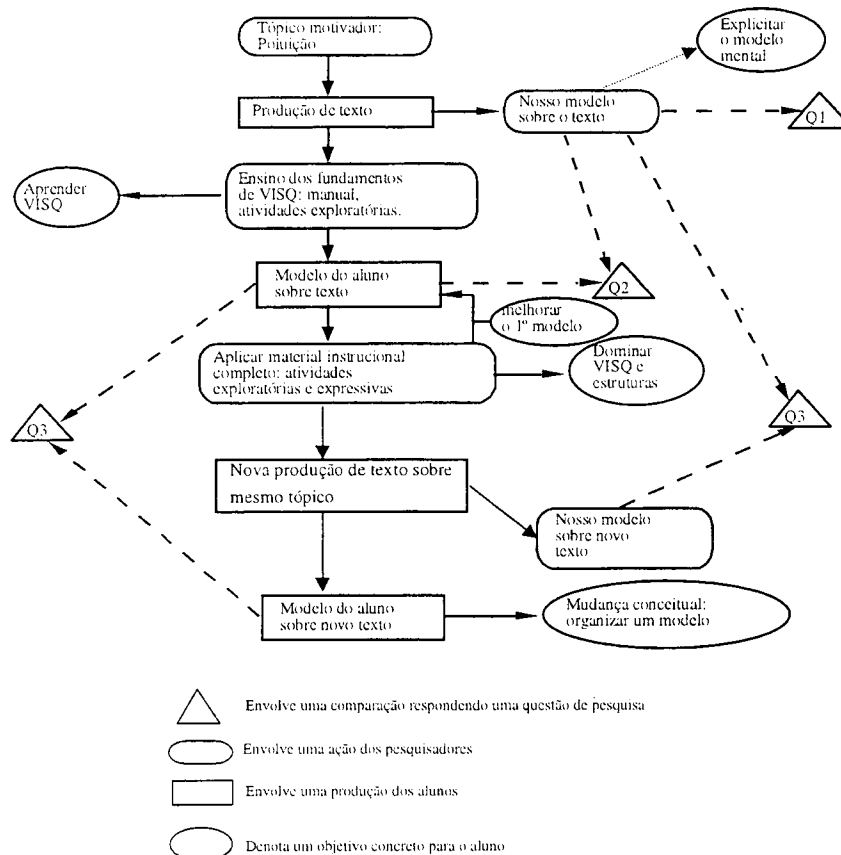


Figura 1 – Fluxograma com o delineamento da pesquisa.

Desenvolvemos uma metodologia de pesquisa com a descrição a seguir.

Inicialmente propusemos um tema para que o aluno elaborasse uma redação. Acompanhando o tema foi apresentada uma lista de palavras que poderiam estar presentes na redação dos alunos. Essas palavras correspondiam às principais variáveis de um modelo razoavelmente complexo, desenvolvido pelos pesquisadores sobre o tópico escolhido. Concordamos que o tópico devesse ser *poluição* e que as palavras apresentadas para nortear a redação deveriam ser as seguintes: recursos naturais (água, ar, solo, etc); produção de energia; população; doenças; animais; vegetais; espaço físico; indústrias; automóveis; emprego; esgoto; acúmulo de lixo; governo; cidade; Eu (você o/a aluno/a); educação; conscientização; tecnologia para controle de poluente (filtro, catalisador, etc); clima. Sugerimos ao aluno, se julgasse necessário, a utilização de outras palavras que não tivessem sido propostas.

O texto produzido, por hipótese, deveria explicitar o modelo mental que o aluno possui sobre a situação escolhida, no caso, a *poluição*. A partir do texto construímos nosso modelo no VISQ que tentou ser uma representação fiel do texto do aluno. Assim, fomos capazes de analisar o alcance do aluno quanto às variáveis e estruturas dinâmicas (pares e retroalimentação, por exemplo). Com a descrição do padrão apresentado nesses modelos, que representam os textos, pudemos traçar um perfil do modelo mental do aluno sobre o tópico, respondendo à questão de pesquisa Q1.

Na sequência, iniciamos uma atividade de ensino da ferramenta VISQ. Apenas dos fundamentos, tendo como base o manual, e da compreensão dos pares positivos e negativos,

de elos positivos e negativos de retroalimentação e obtenção de saídas gráficas. Propusemos atividades exploratórias³ com o objetivo de ensinar o programa VISQ.

Após dominarem as funções básicas de VISQ e terem entendido os fundamentos da construção de diagramas causais, os alunos retornaram a seu texto original e produziram um modelo sobre o texto. A construção do modelo sobre o texto forneceu-nos evidência de que os alunos provavelmente tenham melhorado seu modelo mental. Ao compararmos o modelo gerado pelo aluno com o modelo inicial por nós produzido sobre o texto do aluno, respondemos à questão de pesquisa Q2.

Para respondermos à questão Q3, que envolve o domínio de VISQ e uma possível mudança (ou transferência) conceitual, aplicamos o material instrucional completo. O aluno foi submetido a um conjunto de atividades exploratórias e expressivas onde ganhou competência com o programa VISQ, trabalhando com alguns problemas dinâmicos que têm estrutura definida (incluindo o primeiro modelo por ele desenvolvido). Após o estudante ter demonstrado competência com o programa sugerimos uma nova atividade de produção de texto sobre o mesmo tópico: *poluição*. Novamente construímos nosso modelo desta nova produção de texto. Após solicitamos ao aluno que construísse seu modelo sobre o novo texto. Procedemos as comparações *nosso modelo sobre texto inicial x nosso modelo sobre novo texto e modelo do aluno sobre texto inicial x modelo do aluno sobre novo texto*. Essas duas comparações nos permitiram observar se houve uma mudança conceitual (ou transferência) permitindo responder à questão de pesquisa Q3. Após o trabalho com as diversas atividades exploratórias e expressivas, ao propormos uma ampliação no modelo estávamos esperando uma mudança no que diz respeito ao raciocínio com estruturas dinâmicas e ao pensamento sistêmico que será apresentado na seção 5 - principalmente uma mudança ou evolução na capacidade de organizar um modelo que representa um sistema real. Essa organização deu-se pela introdução de novas variáveis relevantes, exclusão das não relevantes e relações ambíguas e introdução de novas relações de causa e efeito incluindo retroalimentação.

4. Referencial para análise de modelos em VISQ

O referencial, apresentado com detalhes em Kurtz dos Santos, A. C., Thielo, M. R. & Kleer, A. A. (1997), descreve aspectos dos modelos desenvolvidos pelos estudantes em três dimensões: a natureza das entidades utilizadas; a natureza e o status dos elos utilizados e a estrutura final do modelo em VISQ. O referencial também descreve aspectos dos modelos dos estudantes no que diz respeito à coerência e ao processo de modelagem.

5. Pensamento Sistêmico

Sugerimos em Kurtz dos Santos, A. C., Thielo, M. R. & Kleer, A. A. (1997) que os estudantes são capazes de desenvolver o pensamento sistêmico quando:

- usam variáveis em elos causais razoáveis em modelos totalmente coerentes com, pelo menos, um elo de retroalimentação;
- durante a construção do modelo solicitam gráficos simultâneos das variáveis, usam a saída gráfica para aperfeiçoar a estrutura do modelo, alcançam um nível razoável de discussão da situação estudada, e relacionam modelo à realidade.

Assim, a construção de modelos complexos coerentes e relacionados com a realidade e o domínio da modelagem são indícios de que está ocorrendo o pensamento sistêmico em diferentes níveis. Nesse estudo o aumento da complexidade das estruturas coerentes

³ Existem dois tipos de atividades possíveis de se desenvolver em modelagem – as *expressivas* e as *exploratórias*. Nas *exploratórias* o aluno explora uma representação (modelo) do professor ou pesquisador e nas *expressivas* o aluno desenvolve seu próprio modelo, expressando-se com a ferramenta. Essas atividades podem ser encontradas em <http://www.furg.br/furg/projet/profcomp>.

desenvolvidas foi o critério utilizado como evidência de melhoria dos modelos mentais dos alunos sobre *poluição*.

6. Discussão dos resultados: respondendo às questões de pesquisa

Apresentaremos a seguir os resultados da pesquisa realizada da evolução de dois alunos.

Q1 – *Como é o modelo mental que o aluno apresenta sobre determinado sistema complexo real?*

Ao iniciarmos a nossa análise da redação do aluno, não levamos em consideração os erros gramaticais, nem frases que demonstram um visão mítica do mundo como “...Deus criou a natureza, e o homem está destruindo..”, sendo que o próprio aluno abstraiu de seu modelo no computador esse tipo de relação. Modelamos do texto frases que descreviam situações coerentes com a realidade.

Considerando que, através da análise da produção de texto utilizando VISQ, e da própria modelagem do texto em VISQ pelo aluno, podemos ter uma idéia a respeito do modelo mental que este apresenta sobre *poluição*, dizemos que a visão inicial e espontânea do aluno é fragmentada, uma vez que os modelos desenvolvidos foram compostos de subsistemas isolados com a predominância de pares e correntes.

O aluno evidenciou sua visão fragmentada tanto de forma escrita, quanto no modelo construído no computador. Esse resultado pode ser observado ao compararmos os primeiros modelos dos alunos, com o nosso modelo da respectiva redação (ver Figuras 2, 3, 4 e 5).

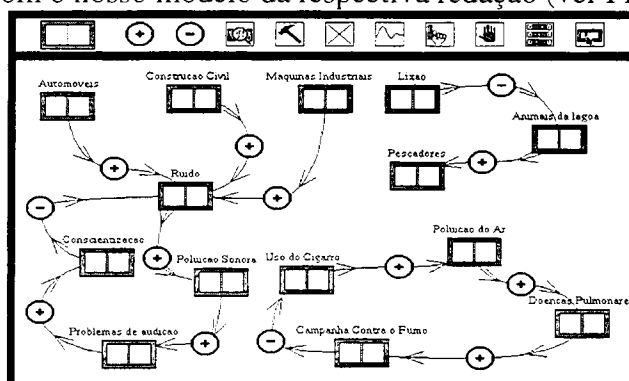


Figura 2 – Nosso modelo do texto 1 do aluno 1.

Nosso modelo sobre o primeiro texto do aluno 1 (Figura 2) contém três subsistemas. Um consiste de uma corrente: Lixão → Animais da lagoa → Pescadores, e os outros dois, mais sofisticados, compostos por elos de retroalimentação negativos. No da esquerda, existem três pares com elos para a variável *Ruído*. Note que mesmo o texto gerado pelo aluno diz respeito à subsistemas isolados e não integrados. Com base no modelo vemos que o texto escrito não apresenta uma visão integrada dos distintos subsistemas.

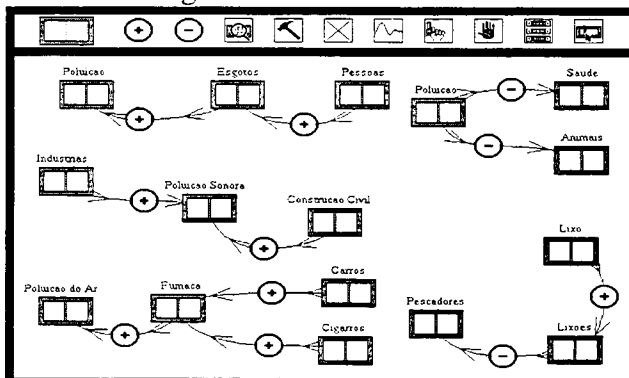


Figura 3 – Modelo do aluno 1 sobre o texto 1. Note a fragmentação do modelo.

O modelo da Figura 3 é composto de 05 subsistemas isolados, cada qual apresenta predominantemente pares e, no máximo, correntes.

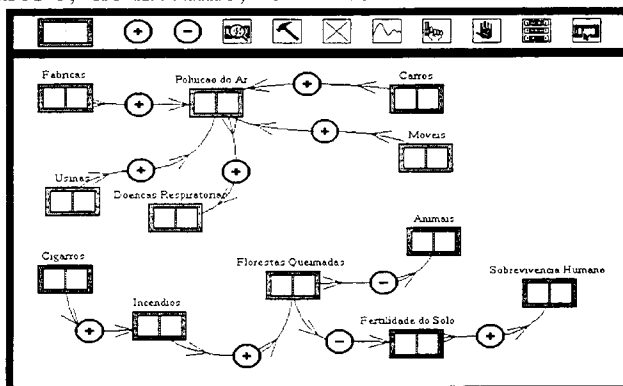


Figura 4 – Nosso modelo do texto 1 do aluno 2.

Nosso modelo sobre o primeiro texto do aluno 2 (Figura 4) contém dois subsistemas que não interagem. Os dois são compostos de uma estrela e um par (Poluição do Ar → Doenças Respiratórias), e uma corrente e um par (Florestas Queimadas → Animais).

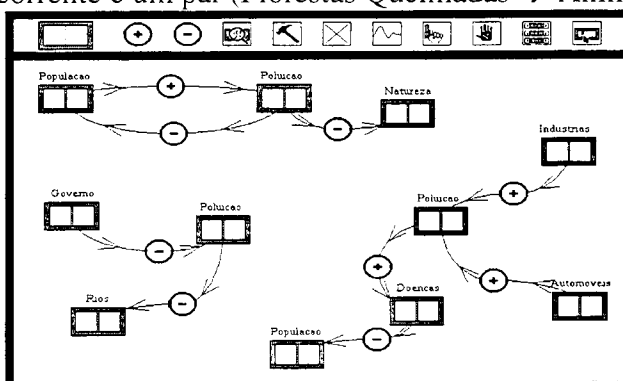


Figura 5 – Modelo do aluno 2 sobre o texto 1.

O segundo aluno (Figura 5) construiu um modelo com três subsistemas, cada um composto predominantemente por correntes. Existe um elo de retroalimentação negativo entre População e Poluição. Note que a entidade *Poluição* aparece nos três subsistemas.

Percebe-se, assim, que os dois alunos estudados apresentaram uma visão inicial fragmentada sobre a *poluição*. Esses resultados podem estar concordando com Forrester (1971) que afirma que o modelo mental é confuso, impreciso e incompleto.

Q2 – *Pode o aluno usando a modelagem semiquantitativa, através da simulação, representar seu modelo mental e mesmo melhorá-lo no microcomputador?*

As Figuras 3 e 5 evidenciam que os alunos foram capazes de representar com VISQ seu modelo mental sobre *poluição*. As Figuras 7 e 10 são evidências de que os alunos foram capazes de melhorar sua representação inicial, após dominarem a ferramenta. Os modelos deixaram de ser fragmentados, construídos em blocos, e atingiram um estágio superior de amadurecimento, a medida em que o aluno analisava o seu modelo e discutia se os resultados que apareciam na tela do computador eram coerentes com a realidade e de que forma seria possível, caso necessário, melhorar tal situação. Nesse nível do trabalho os alunos já dominavam as funções do programa, e as relações de pares de causa e efeito exigidos na construção dos modelos. Durante a construção dos modelos os mesmos eram simulados com a solicitação de gráficos coloridos simultâneos e a utilização desses gráficos para alterar e melhorar a estrutura dos modelos. Veja, por exemplo, os gráficos nas Figuras 8 e 11.

Q3 – Podemos propor atividades de modelagem semiquantitativa que levem o aluno a uma mudança (ou transferência) conceitual?

Ao término das atividades de modelagem com o material instrucional completo, os alunos redigiram um novo texto, para a comparação com o primeiro. Foi observado que esses últimos possuíam menor complexidade, porém quando os alunos o modelaram, conseguiram visualizar e acrescentar relações causais implícitas a este, capacidade que não foi demonstrada quando da construção dos primeiros modelos.

Ao criarmos o nosso modelo do novo texto, e compararmos com o modelo dos alunos (ver Figuras 6 e 7 e Figuras 9 e 10), tornou-se evidente que estes conseguiram estabelecer relações que não estavam escritas nos textos.

Podemos dizer que as atividades de modelagem com VISQ, levaram o aluno a uma transferência dos princípios utilizados extensivamente nas atividades do material instrucional, no que diz respeito à visão sistêmica (integração entre subsistemas). Veja nas Figuras 7 e 10 o aumento no número de variáveis e a complexidade das estruturas desenvolvidas pelos alunos.

Os modelos das Figuras 6 e 9, por nós desenvolvidos tendo como base o novo texto, também evidenciam uma maior visão sistêmica inclusive na maneira de escrever o novo texto, quando comparadas, respectivamente, com as Figuras 2 e 4 que apresentam uma maior fragmentação.

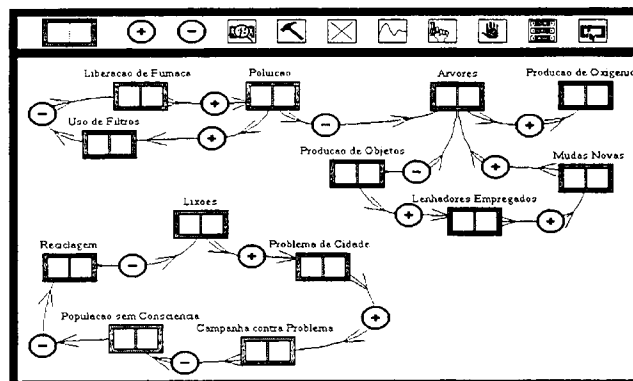


Figura 6 – Nosso modelo do último texto do aluno 1.

Nosso modelo do último texto do aluno 1, na Figura 6, evidencia uma maior integração entre as variáveis. Ainda assim existem dois subsistemas isolados mas com estruturas mais sofisticadas, uma vez que contém dois elos negativos de retroalimentação e algumas correntes.

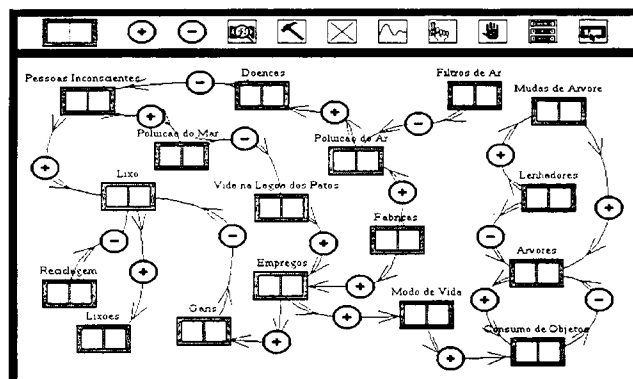


Figura 7 – Último modelo do aluno 1.

O modelo da Figura 7, embora complexo, é predominantemente composto por correntes contendo apenas um elo de retroalimentação $\text{Árvores} \leftrightarrow \text{Consumo de Objetos}$. Ao executarmos o modelo observamos que as principais variáveis acabam estabilizando-se, coerentemente, em estados máximos ou mínimos (veja a Figura 8).

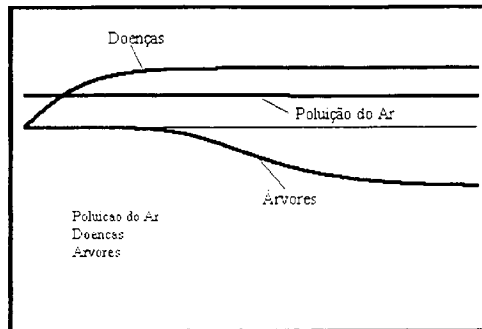


Figura 8 – Gráfico de três variáveis do último modelo do aluno 1. A linha mais fina corresponde ao nível normal.

Segundo a Figura 8, uma Poluição do Ar acima do normal leva a um aumento das Doenças e uma diminuição das Árvores, o que é coerente com a realidade.

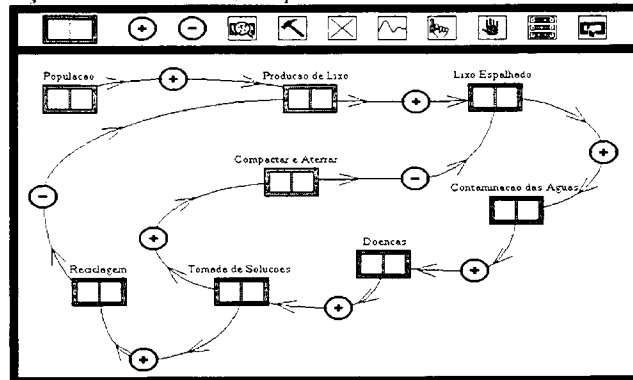


Figura 9 – Nosso modelo do último texto do aluno 2.

Nosso modelo do último texto do aluno 2, na Figura 9, evidencia também uma maior integração entre as variáveis, não apresentando subsistemas isolados. Contém dois elos de retroalimentação negativa que interagem e apenas uma variável independente conectada a um elo (População → Produção de Lixo).

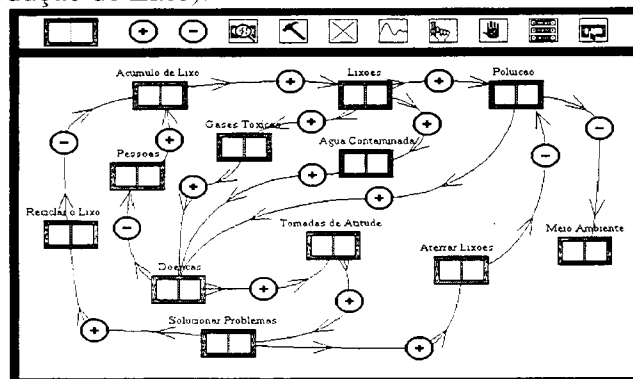


Figura 10 – Último modelo do aluno 2.

Estruturas mais sofisticadas aparecem, também, nas Figuras 9 e 10. O modelo da Figura 10 apresenta três elos de retroalimentação negativos acoplados. Ao executarmos o modelo observamos uma solução oscilatória coerente das principais variáveis (veja a Figura 11).

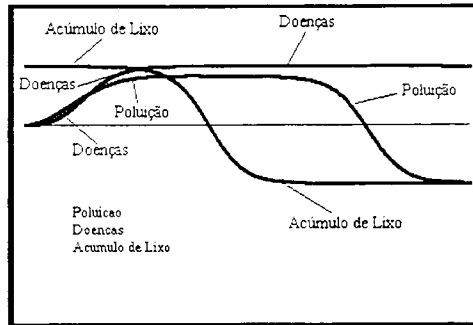


Figura 11 – Gráfico de três variáveis do último modelo do aluno 2. A linha mais fina corresponde ao nível normal.

Segundo a Figura 11, um Acúmulo de Lixo acima do nível normal leva inicialmente a um aumento da Poluição e das Doenças. Posteriormente, a queda do Acúmulo de Lixo leva a uma diminuição da Poluição, com a posterior queda das Doenças, o que também está coerente com a realidade.

7. Conclusão

Ao desenvolvermos um modelo em VISQ do texto criado pelos estudantes percebemos que os mesmos apresentaram uma visão inicial fragmentada da situação, o que era esperado segundo resultados de pesquisa sobre modelos mentais. Após o trabalho com o programa VISQ, tendo como base a metodologia proposta na seção 3, utilizando os materiais instrucionais desenvolvidos no projeto PROFECOMP, os resultados sugerem que foi possível, por transferência conceitual, levar os alunos de uma visão fragmentada para uma visão sistêmica sobre os principais fatores envolvidos na *poluição*, tendo em vista as evidências de maior integração entre os subsistemas, coerência do comportamento do modelo, aumento do número de variáveis e da complexidade das estruturas desenvolvidas.

8. Bibliografia

- Forrester, J. W. (1971) *World Dynamics*. Wright-Allen Press, Inc, Massachusetts.
- Kurtz dos Santos, A. C. (1995) *Introdução à Modelagem Computacional na Educação*. Editora da FURG, Rio Grande.
- Kurtz dos Santos, A. C., Thielo, M. R. & Kleer, A. A. (1997) Students modelling environmental issues. *Journal of Computer Assisted Learning*, Vol. 13, N° 1, March.