

# **A MODELAGEM COMPUTACIONAL QUANTITATIVA NO ESTUDO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO COM ESTUDANTES DE NÍVEL SUPERIOR**

## **THE QUANTITATIVE COMPUTER MODELING IN THE STUDY ABOUT OF HIDROGRAFY BASIN: AN EXPLORATORY STUDY WITH COLLEGE STUDENTS**

**Leandro Anderson Carvalho Sales<sup>1</sup>**

**Elias Gonçalves<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo, leandruanderson@gmail.com

<sup>2</sup>Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo/Coordenadoria de Física, eliasgoncalves@gmail.com

### **RESUMO**

O artigo apresenta resultados da investigação sobre a utilização do Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo ao aprendizado exploratório de conteúdos específicos de Ciências, onde se buscou investigar a integração das tecnologias de informação e comunicação através dos conceitos de modelos e modelagem visando o desenvolvimento e a avaliação de estratégias para a sua utilização nos processos de ensino e aprendizagem e a inovação curricular para a Educação Superior, particularmente do curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental baseado na metáfora de ícones VENSIM em uma atividade sobre o fluxo de água de uma bacia hidrográfica. Os dados são de natureza qualitativa e para a sua análise foi utilizada a técnica da Rede Sistêmica. Os resultados sugerem que os estudantes foram capazes de desenvolver os modelos propostos, identificando o tipo de estrutura causal apresentando dificuldades e habilidades no desenvolvimento do processo de construção de modelos.

**Palavras-chave:** Modelagem Computacional Quantitativa

### **ABSTRACT**

This paper presents resulted of the investigation on the use of the Quantitative Environment of Computational Modeling into the exploratory learning of specific contents of Sciences, where if it searched to investigate the integration of the information technologies and communication through the concepts of models and modeling being aimed at the development and the evaluation of strategies for its use in the teaching and learning processes and the curricular innovation for the college, particularly of the course of Technology in based Ambient Sanitation in the metaphor of icons VENSIM in an activity on the water flow of a hidrografy basin. All data are of qualitative nature, with Systemic Network technique being used for the analysis. Results suggest that the students were able to develop proposed model, identifying the type of causal structure and evidencing both abilities and difficulties throughout the model construction process.

**Keywords:** Quantitative Computer Modelling

## **1. A MODELAGEM COMPUTACIONAL E A EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS**

No mundo de hoje, é de suma importância que tanto os professores quanto os alunos estejam familiarizados e habilitados a explorar o potencial da tecnologia de informação e comunicação no ambiente escolar. Saber lidar com essa tecnologia é tão urgente quanto o saber ler, escrever ou fazer contas. Hoje, felizmente, já encontramos muitas escolas e universidades que contam com modernos laboratórios de informática contendo um bom número de computadores. No entanto, estes computadores, muitas vezes, são utilizados apenas como ferramentas de digitação, entretenimento ou mera estratégia de ensino para tornar a aula mais atraente. No dia a dia das escolas, pouco proveito se tem tirado e poucas propostas existem no uso efetivo dessa tecnologia nos processos de ensino e aprendizagem (Gonçalves & Ferracioli, 2003). Devido a isto, no mundo de hoje, é de suma importância pesquisar e investigar como explorar o potencial da tecnologia de informação e comunicação no ambiente escolar.

No ensino de Ciências isso pode ser feito levando o aluno a construir um modelo sobre um sistema em estudo e em seguida representá-lo no computador através de um Ambiente de Modelagem adequado. Uma vez representado o modelo no Ambiente de Modelagem Computacional este seria simulado gerando a possibilidade de ampliação do estudo do problema analisado. O processo de representação e simulação de um modelo no computador é denominado de modelagem computacional (Camilletti, 2001).

No entanto, segundo Ferracioli (1997b) a utilização da modelagem computacional no contexto educacional demanda o delineamento de uma investigação que inclua tanto o desenvolvimento de atividades de modelagem quanto a sua efetiva utilização para que se possa concluir sobre as reais possibilidades de sua integração no cotidiano de sala de aula.

Neste contexto, o estudo aqui relatado investigou a utilização da modelagem computacional quantitativa bem como avaliou o entendimento dos alunos aqui participantes ao serem submetidos a uma nova forma de discussão a respeito de problemas ambientais, observando as formas de prevenção e os resultados de diversas políticas de prevenção ambiental, utilizando para isso a modelagem computacional.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

A modelagem computacional permite o desenvolvimento de atividades de modelagem sem a exigência de um formalismo matemático ou conhecimento de uma linguagem de programação. Nos ambientes de modelagem computacional baseado na metáfora de ícones, as variáveis envolvidas no estudo e as possíveis ligações entre elas, são representadas por ícones de forma que o cálculo necessário para o estabelecimento dessas ligações entre as variáveis são realizados internamente por procedimentos computacionais, não exigindo do estudante o conhecimento de programação e matemático.

Um ambiente de modelagem computacional é um software que, no contexto deste trabalho, recebe esta denominação devido ao fato de estar contextualizado no ambiente escolar onde ele é entendido como um ambiente de aprendizagem.

A modelagem computacional caracteriza-se como um processo dinâmico na medida que um modelo construído pelo estudante com papel e lápis e, a seguir, representado em um ambiente de modelagem computacional, pode ser simulado e os resultados desse procedimento levam o estudante tanto a vislumbrar a evolução temporal da realidade física modelada, quanto repensar sua concepção sobre esta.

### **2.1 SOBRE AS ATIVIDADES DE MODELAGEM**

De acordo com Bliss & Ogborn (1989) as atividades de construção de modelos podem ser desenvolvidas de duas maneiras:

**Exploratória:** Quando o aluno explora através da simulação um modelo previamente desenvolvido pelo professor ou pesquisador no ambiente de modelagem.

**Expressiva:** Quando é pedido ao aluno para desenvolver seus próprios modelos em um ambiente computacional.

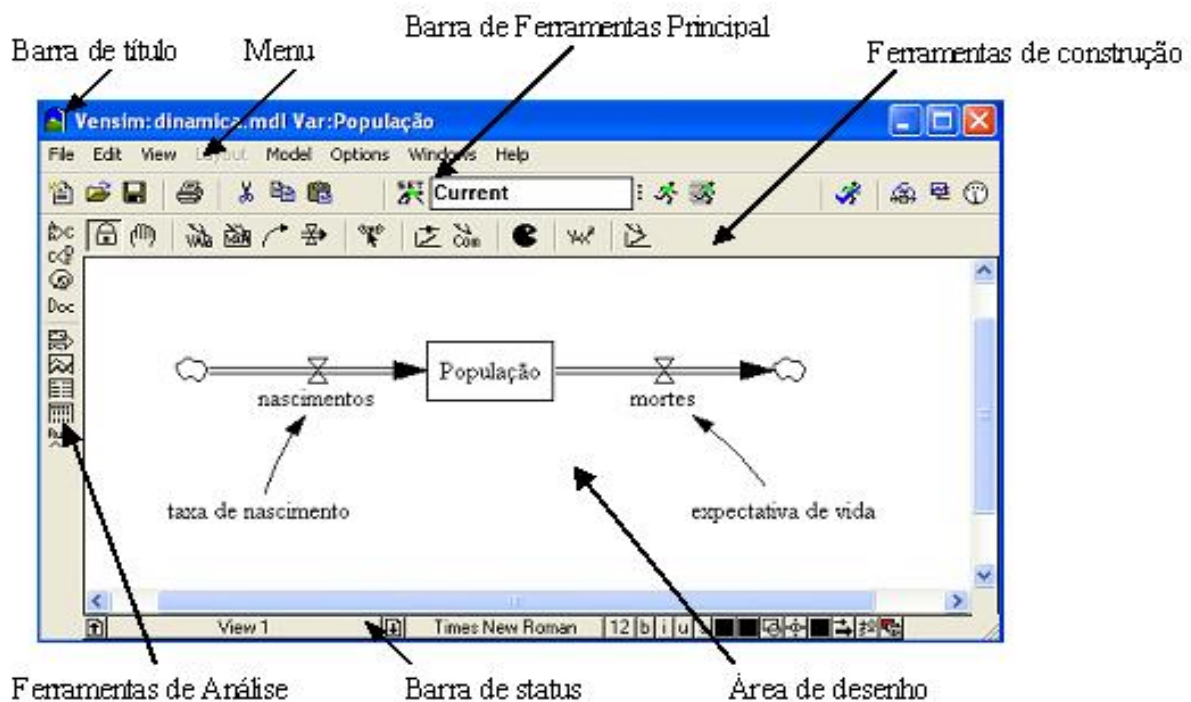
Neste trabalho a atividade de construção de modelo foi desenvolvidas em nível expressivo.

## 2.2 O AMBIENTE DE MODELAGEM COMPUTACIONAL QUANTITATIVO VENSIM

O Ambiente de Modelagem Computacional utilizado para o desenvolvimento deste estudo foi o VENSIM (Ventana Systems, 1995), que é um software de simulação com um ambiente próprio onde você pode estudar o comportamento de modelos já construídos ou construir seus próprios diagramas causais, diagramas de fluxo e simulações de modelos. É uma ferramenta visual de modelagem que permite conceituar, documentar, simular, analisar e aperfeiçoar modelos de sistemas dinâmicos. Além disso, fornece um modo simples de construir modelos de simulação a partir de diagramas causais ou diagramas de fluxo, portanto o usuário não necessita trabalhar com equações matemáticas, sendo necessário fornecer somente as relações causais entre as variáveis consideradas relevantes para que o sistema converta essas relações em linhas de programa.

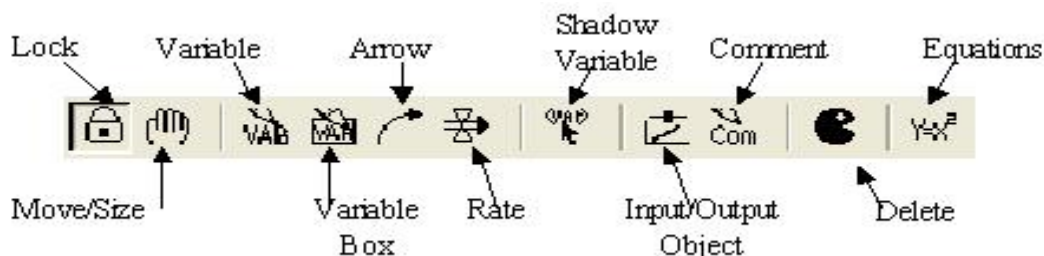
A conexão de variáveis através de setas estabelece as relações entre as variáveis do sistema, que são reconhecidas como conexões de causa-efeito. Essa informação é usada pelo Editor de Equações para formar uma simulação completa do modelo. Pode-se, então, analisar o modelo através do seu processo de construção, observando as causas (variáveis que modificam a variável de interesse) e os usos (variáveis que são modificadas pela variável de interesse) de uma variável, e também os loops envolvendo essa variável.

O VENSIM utiliza uma interface que pode ser vista como uma área de trabalho e um conjunto de ferramentas, conforme a figura 1. A janela principal é a área de trabalho que inclui a *Barra de Título*, o *Menu*, a *Barra de Ferramentas Principal* e as *Ferramentas de Análise*. O conjunto de ferramentas divide-se em *Ferramentas de Construção* e *Barra de Status*, essas ferramentas só aparecem quando um modelo estiver aberto.



**Figura 1: Ambiente VENSIM**

Na figura 2 temos os ícones da Barra de Ferramentas de Construção, cuja as funções são descritas a seguir:



**Figura 2: Ícones da Barra de Ferramentas de Construção**

- 1 **Lock:** o cursor pode selecionar elementos do modelo, mas não pode movê-los.
- 2 **Move/Size:** move, altera tamanho, seleciona elementos.
- 3 **Variable:** cria variáveis do tipo Constante, Auxiliar, Lookups e Data. Lookups são variáveis especiais que utilizam funções, esse tipo de variável não será tratado nessa apostila.
- 4 **Variable Box:** cria variáveis do tipo Nível ou Estoque.
- 5 **Arrow:** cria Setas de conexão retas ou curvas.
- 6 **Rate:** cria variáveis do tipo Taxa ou Fluxo que são representadas por setas perpendiculares com válvulas e, se necessário, nuvens.
- 7 **Shadow Variable:** adiciona na área de trabalho uma variável já existente no modelo (sem adicionar suas causas).
- 8 **Input/Output Object:** adiciona sliders, gráficos e tabelas para o modelo.
- 9 **Comment:** adiciona comentários e figuras.
- 10 **Delete:** apaga estruturas, variáveis e comentários em um modelo.
- 11 **Equation:** cria e edita as equações do modelo usando o Editor de Equações.

A configuração utilizada neste trabalho foi o Vensim Personal Learning Edition (PLE). O VENSIM PLE é similar às outras configurações do VENSIM, entretanto alguns recursos e opções não estão disponíveis. Essa versão é livre para uso educacional e pessoal. Um entendimento mais amplo do funcionamento do software é encontrado na oitava publicação da Série Modelos, uma coletânea de textos sobre a modelagem enquanto proposta para os modelos de ensino e aprendizagem, preparado pelo Modelab – Laboratório de Tecnologias Interativas Aplicadas à Modelagem Cognitiva – no texto **Introdução ao Ambiente de Modelagem Computacional VENSIM**.

### 2.3 ESTRATÉGIA PARA A CONSTRUÇÃO DE MODELO

O módulo instrucional preparado consta de uma apresentação sobre o sistema ambiental focalizado: O Fluxo de Água na Bacia Mono.

A seguir, os estudantes foram convidados a desenvolver uma atividade expressiva sobre este sistema ambiental. Com o objetivo de orientar os alunos neste processo, durante atividade expressiva foi utilizada uma seqüência de passos desenvolvidos por Camiletti e Ferracioli (2001) que denominamos processos de construção de modelos:

- A definição do *sistema* a ser estudado;
- Escolha do *fenômeno de interesse* a ser estudado no sistema escolhido;

- Listagem das *variáveis importantes* para a construção do modelo;
- Tradução das *variáveis* listadas para as variáveis dos Diagramas de Fluxo;
- Construção do modelo através dos Diagramas de Fluxos;
- Representação do Diagrama de Fluxo no Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo VENSIM.

### 3. CONCEPÇÃO DO ESTUDO

O presente estudo investiga a utilização desse ferramental com estudantes em nível superior através de um procedimento de modelagem baseado na atividade de modelagem expressiva com ênfase no entendimento de elos de retroalimentação e de sua representação estrutural no ambiente VENSIM.

Neste contexto, o presente estudo foi estruturado para investigar as seguintes questões básicas de pesquisa:

1. *Como são as representações das estruturas causais básicas na construção dos Diagramas de Fluxo?*
2. *Como se dá o processo de representação do Diagrama de Fluxo do modelo do fluxo de água em uma bacia hidrográfica no Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo VENSIM?*

#### 3.1 O CONTEXTO

A atividade de investigação sobre o módulo educacional *O Fluxo de Água na Bacia Mono* foi efetuada em aulas teóricas e experimentais totalizando uma carga horária de 5 horas. O conteúdo da atividade foi distribuído em duas etapas de estudo de acordo com a programação abaixo.

##### **Primeira Etapa (3 horas)**

Introdução ao Ambiente de Modelagem Computacional VENSIM: Modelagem e Representação do Conhecimento;

##### **Segunda Etapa (2 horas)**

Apresentação do Módulo Educacional e desenvolvimento de atividades exploratórias através do material instrucional.

#### 3.2 O PROBLEMA A SER ESTUDADO

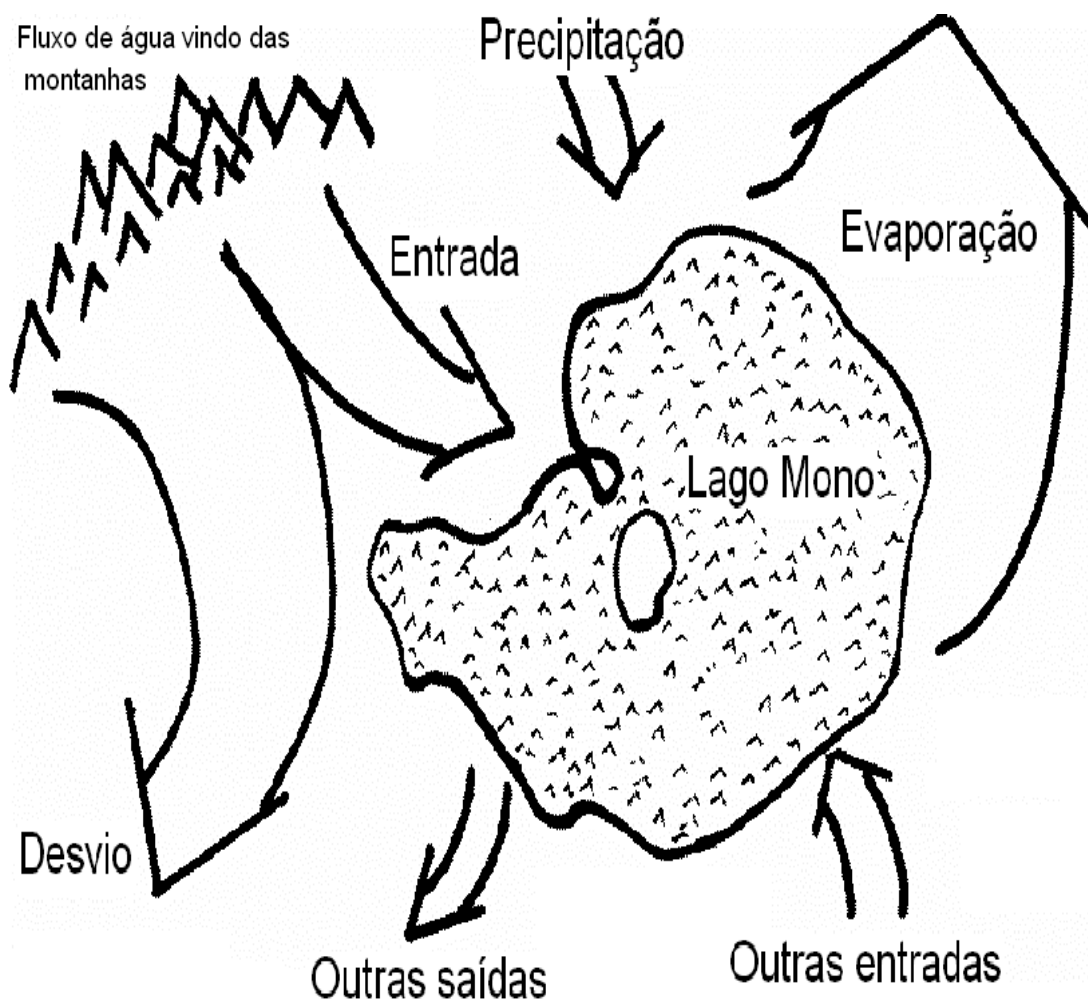
Esta pesquisa focalizou a utilização da modelagem computacional no estudo de um sistema ambiental, particularmente, o estudo do fluxo de água no Lago Mono, localizado na Califórnia – EUA.

O Lago Mono é um antigo mar interno no Serra Leste, Califórnia. É um dos mais antigos lagos existentes no mundo. Ilhas vulcânicas erguem-se no centro do lago, e torres de tufas erguem-se pelas margens. Na bacia existe um completo contraste e vistas espetaculares. É também um oásis para a vida selvagem em um território altamente desértico. As aves migratórias usam o lago como local de paradas rápidas; as aves criam seus filhotes nas ilhas. As aves são atraídas

por um simples, mas extraordinário ecossistema. Algas microscópicas prosperam no lago, fornecendo o abastecimento de comida para camarões e moscas de salmoura. Esses são organismos espantosamente engenhosos que podem fornecer um praticamente ilimitado abastecimento de comida para aves com um mínimo de condições dignas.

Esta pesquisa se baseou em dados a respeito do comportamento do Lago Mono, desde 1941, quando a cidade de Los Angeles começou a desviar a água da Bacia Mono para abastecimento público. Estes desvios continuaram fazendo com que a profundidade reduzisse ano após ano, a ponto de em 1981 se constatar um decréscimo de 13,72 m em sua profundidade. Nesta época, um grupo de estudante, após estudos comprobatórios, concluíram que se a situação continuasse assim o lago não duraria muito tempo e formaram um Comitê. O objetivo do Comitê foi estudar medidas para reduzir a adução de água da bacia Mono a níveis que não prejudicasse nem o lago nem o abastecimento e fazer com que a profundidade do lago voltasse aos níveis anteriores a 1941, restabelecendo o equilíbrio do lago. O Lago Mono é muito adequado para se mostrar claramente o poder da modelagem computacional, possibilitando ao estudante construir modelos que simulam as mudanças no nível do lago, com diferentes políticas de controle de exportação para a cidade de Los Angeles (Ford, 1999).

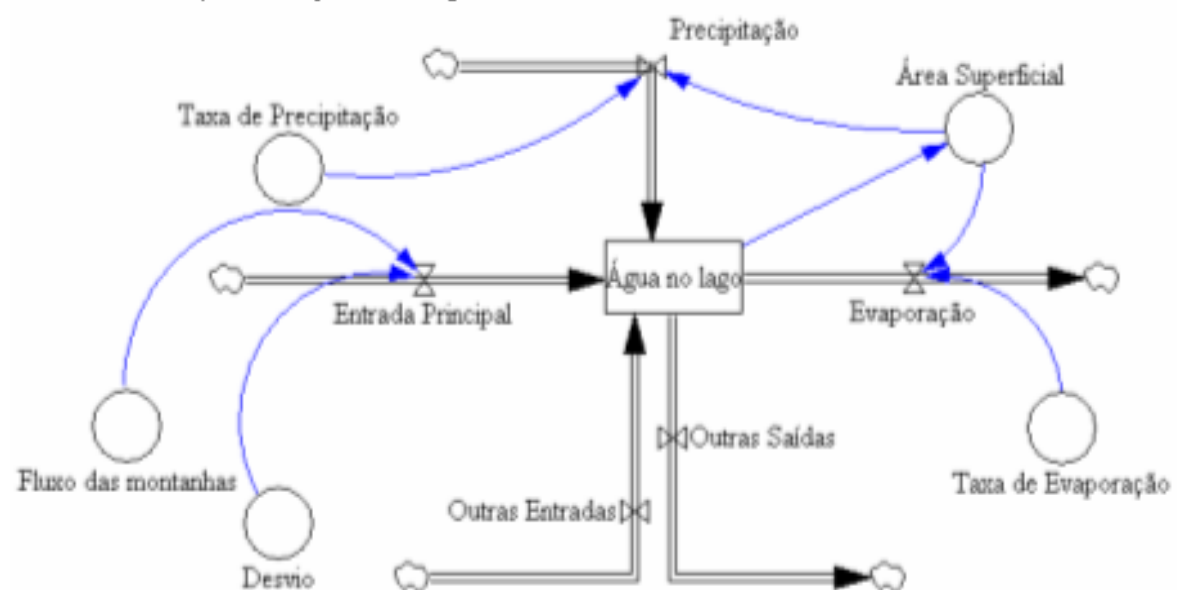
O critério para a escolha do Sistema do Fluxo de Água na Bacia Mono foi o fato de ser um estudo pioneiro e importante nos dias atuais em função da falta de água potável no mundo e que é um bom exemplo para simulação de modelos ambientais computacionais. Através da modelagem computacional buscou-se, a partir da articulação de modelos simples, desenvolver um modelo representativo deste sistema. A figura 3 mostra um esquema do modelo a ser estudado, já quadro 1 mostra os passos para a construção desse modelo.



**Figura 3:** Um modelo esquemático da atividade

**Quadro 1:** Processo de Construção de Modelos para o Fluxo de Água na Bacia Mono

- 1º. Passo - Sistema: *Bacia do Lago Mono*
- 2º. Passo - Fenômeno de interesse: *Volume de água do lago Mono*
- 3º. Passo - Listagem das variáveis: *Evaporação  
Precipitação  
Outras Entradas  
Fluxo Montanhas  
Entrada Principal  
Volume de água no lago Mono  
Outras Saídas  
Área da Bacia  
Taxa de precipitação  
Taxa de Evaporação  
Desvio*
- 4º. Passo - Tradução das variáveis: *Nível - Volume de água do lago Mono  
Taxa - Precipitação  
Taxa - Outras Entradas  
Taxa - Evaporação  
Taxa - Entrada principal  
Taxa - Outras Saídas  
Auxiliar - Desvio  
Auxiliar - Fluxo das montanhas  
Auxiliar - Área  
Auxiliar - Taxa de precipitação  
Auxiliar - Taxa de evaporação*
- 5º. Passo - Construção do modelo através dos diagramas de fluxo:
- 6º. Passo - Representação do diagrama de fluxo no Vensim:





### 3.3 A AMOSTRAGEM

O estudo foi desenvolvido com alunos do 1º Período do curso de Saneamento Ambiental do Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo. Estes trabalharam em duplas durante o desenvolvimento do curso, visando o favorecimento da discussão sobre o tema em estudo.

### 3.4 COLETA DE DADOS

O material instrucional fornecido aos estudantes foi confeccionado no formato de questões abertas onde os alunos, no decorrer da atividade exploratória e expressiva, responderam às perguntas propostas. Ao término de cada etapa o material foi recolhido como fonte de dados para a pesquisa. Por se tratar de dados de natureza qualitativa (Bogdan & Blikem, 1982), a técnica utilizada para a sua análise foi a de Redes Sistêmicas (Bliss et al, 1983).

## 4. ANÁLISE DE DADOS

Os dados são de natureza qualitativa e o instrumento utilizado para a análise dos dados foi a Rede Sistêmica (Bliss et al., 1983), devido á possibilidade de estruturação de categorias de uma forma mais abrangente e complexa. De acordo com Ogborn (1994) uma rede sistêmica pode ser vista como uma gramática, independentemente do contexto que define uma “linguagem” construída para descrever os dados. Os elementos básicos de uma rede sistêmica são:

- **Colchete** - usado para representar qualquer conjunto de escolhas exclusivas;
- **Chave** - usada para representar um conjunto de escolhas que ocorrem simultaneamente;

Os aspectos analisados foram baseados no *Processo de Construção de Modelos*, descrito no 2.3, onde são abordados os aspectos que descrevem a sequência de passos que conduziram os estudantes no processo de desenvolvimento das atividades de modelagem expressiva. A rede sistêmica construída para a análise deste processo está mostrada na Fig. 4 e consiste de dois aspectos: **Diagrama de Fluxo** e **Análise do Modelo**. Esses dois aspectos estão representados na primeira chave. Dessa forma, a análise do Processo de Construção de Modelo de acordo o aspecto do **Diagrama de Fluxo**, descreve a estrutura do modelo construído em relação aos elos de retroalimentação, e a **Análise do Modelo**, descreve a representação do modelo construído no ambiente de modelagem computacional quantitativo VENSIM.



**Figura 4:** Rede Sistêmica para a análise dos dados.

Esses dois aspectos estão relatados para as questões de pesquisa e eles consistem nas categorias que podem ser vistas no lado esquerdo da Figura 5, e no lado direito, um quadro-resumo é mostrado no formato de tabela, onde uma leitura de cada coluna provê uma visão do comportamento de cada dupla em relação ao aspecto de *Diagrama de Fluxo* e *Análise do Modelo*, enquanto a leitura de cada linha provê a visão de todos os pares em relação a um aspecto especificado.



Figura 5: Resumo da Rede Sistêmica - Aspecto Diagramas de Fluxo e Análise de Modelo.

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A conclusão sobre o Processo de Construção de Modelo será feita respondendo as questões básicas de pesquisa deste trabalho, descritas na seção 2. A resposta a cada questão é baseada no quadro-resumo mostrados na Figura 5.

### 1. Como são as representações das estruturas causais básicas na construção dos Diagramas de Fluxo?

Na análise dos Diagramas de Fluxo foi observada a representação das estruturas causais básicas do ponto de vista da Dinâmica de Sistemas, ou seja, estrutura causal sem elo de retroalimentação, estrutura causal com elo de retroalimentação positivo e estrutura causal com elo de retroalimentação negativo. Na figura 3 é apresentado o resumo deste aspecto da rede para o processo do fluxo de água na bacia mono, observa-se que a estrutura causal básica predominante é a de um modelo linear. Assim todas as duplas representaram no papel a estrutura esperada para o fenômeno estudado. Este resultado apresentado indica que as duplas entenderam que para a variável tipo nível “*volume de água na bacia mono*” diminuir ao longo do tempo deve haver uma variável tipo taxa saindo deste nível maior que as variáveis taxas de entrada. Essa estrutura do Diagrama de fluxo com uma taxa saindo do nível está de acordo com a metáfora torneira/tanque. Este resultado indica que os estudantes foram capazes de analisar estas interações a partir da representação icônica no ambiente VENSIM. No entanto todas as duplas não perceberam a influência que o volume do lago tem em relação à área superficial da lâmina d’água do lago, o que é evidenciado num modelo mais completo, quando aí sim teremos uma situação de retroalimentação negativa. Essa retroalimentação se dá da seguinte forma: quando diminuirmos o volume de água no lago mono, diretamente estaremos diminuindo a sua área superficial, com isso, a taxa de evaporação diminuiria alterando fazendo com que o a saída de

água pela evaporação diminuísse aumentando assim o volume do lago, pois as outras taxas não estaria sendo alteradas. A figura 4 retrata muito bem esse fenômeno que pode ser abordado num segundo modelo.

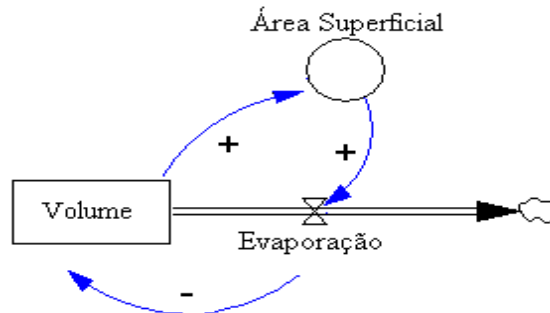


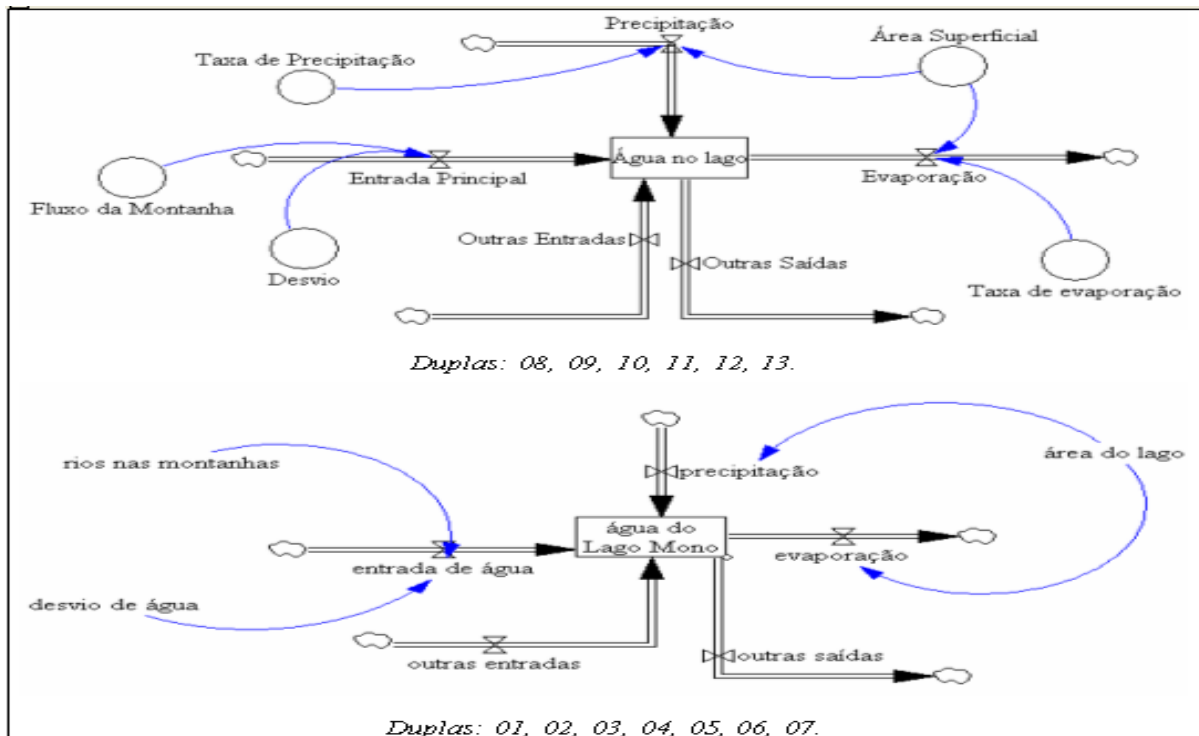
Figura 4 – representação esquemática da retroalimentação negativa

2. Como se dá o processo de representação do Diagrama de Fluxo no Ambiente de Modelagem Computacional VENSIM?

Esta questão é respondida através do aspecto *Análise do Modelo Final* da rede sistêmica e a Figura 3 apresenta um resumo para a atividade proposta. A análise desta figura revela alguns resultados importantes que podem ser discutidos no que diz respeito à *forma* do modelo construído.

5.1 FORMA DO MODELO DO FLUXO DE ÁGUA NA BACIA MONO

Em relação ao modelo previsto para o fluxo de água na bacia mono, a *estrutura* deve ser na forma de um modelo linear para que se possa gerar o comportamento gráfico esperado. Assim, conforme mostra a quadro 2, todas as duplas construíram esse tipo de estrutura.



**Quadro 2:** *Modelo Final Construído na Atividade do Fluxo de Água na Bacia Mono por grupos de dupla*

## **5.2 CONTEÚDO DO MODELO DO FLUXO DE ÁGUA NA BACIA MONO**

Em relação ao conteúdo dos modelos construídos pelos alunos, destacamos que praticamente todas as duplas conseguiram preencher o modelo de forma esperada, demonstrando que a partir de um exercício problema apresentado a eles, os mesmos tiveram a capacidade de conceituar de forma adequada as variáveis do tipo nível, do tipo taxa e as variáveis auxiliares, além de fazerem as ligações de forma correta. No entanto, é natural num primeiro momento que algumas duplas tivessem uma certa dificuldade em nomear todas as variáveis necessárias a esse primeiro modelo, mas ficou claro que com um pouco mais de tempo de exposição do problema proposto aos alunos aqui participantes, os mesmos entenderiam o modelo em sua totalidade e a investigação de modelos mais complexos seriam compreendidos com maior facilidade.

## **6. CONCLUSÃO**

Esta pesquisa apontou que os alunos de ensino superior foram capazes de desenvolver modelos no Ambiente de Modelagem Computacional Quantitativo VENSIM sobre o fluxo de água na bacia Mono. A partir da análise dos resultados novas questões de pesquisas podem ser formuladas para o desenvolvimento de novos estudos.

Em relação ao desenvolvimento de integração da modelagem computacional dinâmica em nível de ensino superior, os resultados aqui relatados parecem fornecer subsídios significativos para o desenvolvimento de novos estudos, para que este não seja apenas um evento isolado, mas tenha continuidade no contexto em que está inserida. Esta atividade expressiva nos fornece subsídios para um aprofundamento através de atividades exploratórias, onde nelas se explorem a relação entre o volume e a área, constituindo assim não mais um modelo linear, mas sim um modelo com retroalimentação negativa, uma proposta que instiga os alunos a pensarem com um pouco mais de criticidade a dinâmica desse modelo.

Em relação ao experimento do estudo do volume de uma bacia hidrográfica, um aspecto que pode ser investigado é o nível de água e suas implicações ambientais. Outro aspecto relevante é a estruturação de atividades que incluam a observação e questionamento dos alunos sobre as concepções do senso comum ao longo do processo de construção de modelos para poder abrir a possibilidade de um entendimento a respeito delas. Por fim, um outro aspecto a ser explorado é a solicitação de um esboço da previsão do comportamento gráfico da variação do nível de água no lago em função dos desvios efetivos de água do principal curso de entrada de água para a bacia mono com a finalidade do abastecimento público da cidade de Los Angeles.

Finalmente, pode-se dizer que os estudos referentes a modelos ambientais é uma tendência nova no que tange a modelagem computacional e que inserido num curso relacionado ao meio ambiente como o curso oferecido no centro federal de educação tecnológica do espírito Santo o de Tecnólogo em Saneamento Ambiental, é válido todo esforço e com isso, novas atividades podem ser propostas não só na área de recursos hídricos, como essa atividade estudada, mas em áreas como poluição atmosférica, ecologia, biologia e outros.

## **REFERÊNCIAS**

BLISS, J. et al. (1983). **Qualitative data analysis for educational research: a guide of systemic networks**. 1ª. ed., London: Croom Helm. 215 p.

BLISS J. & OGBORN J (1989). **Tools for exploratory learning**. A Research Programme. *Journal of Computer Assisted Learning*, 5:37-50.

CAMILETTI, G. (2001) **Modelagem computacional semiquantitativa no estudo de tópicos de ciências: um estudo exploratório com estudantes universitários**. Vitória, ES, Curso de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado em Pesquisa em Ensino de Física.

CAMILETTI, G. & FERRACIOLI, L. (2001) **A utilização da modelagem computacional quantitativa no aprendizado exploratório de física**. Cadernos Catarinenses do Ensino de Física, v.18, n 2.

FERRACIOLI, L. (1997) **As novas tecnologias nos centros de ciências, nos centros de formação profissional e na formação de professores**. In: Atas do XII Simpósio Nacional de Ensino de Física. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 27-31/Janeiro/1997. p. 127-33.

FERRACIOLI, L. (2000) **A integração de ambientes computacionais ao aprendizado exploratório em ciências**. Projeto de Pesquisa apresentado ao CNPq, Processo No 46.8522/00-0.

FERRACIOLI, L. (2003). **Perspectivas e resultados da aprendizagem exploratória em ciências através da educação à distância**. Anais do IV Seminário sobre Representações e Modelagem no Processo de Ensino-Aprendizagem. Vitória, ES, 30/10-01/11/2002. [www.modelab.ufes.br/ivseminário](http://www.modelab.ufes.br/ivseminário)

FERRACIOLI, L. & CAMILETTI, G.G. (1998) **Introdução ao ambiente de modelagem computacional STELLA**. Série Modelos, 01/98, Vitória. Publicação Interna do Model@b/UFES.

FORD, A. (1999) **Modeling the Environment**. Washington, DC: Island Press, 1999.

FORRESTER, J. W. (1968) **Principles of systems**. Cambridge, MA: Wright-Allen Press.

GOMES, G. (2003) **A modelagem computacional qualitativa no estudo de tópicos de ciências: um estudo exploratório com estudantes universitários**. Vitória, ES, Curso de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado em Pesquisa em Ensino de Física.

GONÇALVES, L. & FERRACIOLI, L.(2003). **Uma Reflexão sobre a Implementação da Modelagem Computacional do Contexto do Ensino Médio**. Anais do IV Seminário sobre Representações e Modelagem no Processo de Ensino-Aprendizagem. Vitória, ES, 30/10-01/11/2002. [www.modelab.ufes.br/ivseminário](http://www.modelab.ufes.br/ivseminário)

GONÇALVES, E. (2004) **Um Estudo da Modelagem Computacional Quantitativa através de Estruturas Causais Básicas: Um Estudo Exploratório Com Estudantes do Ensino Médio**. Vitória, ES, Curso de Pós-Graduação em Física da Universidade Federal do Espírito Santo. Dissertação de Mestrado em Pesquisa em Ensino de Física.

MODELAB (2005) **Introdução ao Ambiente de Modelagem Computacional VENSIM**. Vitória, ES. Série Modelos 08-2005. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES.

OGBORN, J. (1992) **Modelling with the computer at all ages**. Publicação Interna do Institute of Education University of London.

VENTANA SYSTEMS (1995) **Vensim User's Guide**, Ver. 1.62. Ventana Systems, Inc., 149 Waverley Street, Belmont, MA 02178. Disponível em: < [www.vensim.com](http://www.vensim.com) >.