

FUNDAMENTOS E FUNCIONALIDADES DO STELLA PARA REPRESENTAÇÃO DO PENSAMENTO SISTÊMICO

Anselmo Claudino de Sousa¹
Eder David de Freitas Mello²
Josias Manoel Alves³

RESUMO

O homem usa de diversas linguagens para externalizar o seu pensamento sobre determinado assunto ou fenômeno. Dentro desta perspectiva este trabalho teve como objetivo analisar o uso de modelos para representar e externalizar o pensamento sistêmico. Para isto usamos como objeto de pesquisa o programa STELLA que já é uma ferramenta consolidada e referenciada por pesquisadores da área de sistemas. Buscamos conhecer os fundamentos e as funcionalidades do STELLA. Para tanto, partimos da obra de Vygostsky Pensamento e Linguagem (2000), onde afirma-se que “a linguagem molda o pensamento”. A modelagem no ambiente STELLA tem como base conceitual-filosófica a teoria de sistemas, fundamentando no pensamento sistêmico apresentado por Forrester. Esta ferramenta representa sistemas através de metáforas de ícones. Os modelos representados são simulados por meio de equações diferenciais a partir dos processos de derivação e integração desenvolvidos por Newton e Leibniz, que podem ser considerados como uma das ferramentas mais poderosas para se entender o universo.

Palavras-chave: linguagem, modelagem matemática, pensamento sistêmico, educação, STELLA.

INTRODUÇÃO

Este artigo tem por objeto a apresentação dos fundamentos conceituais utilizado pelo *software* de modelagem matemática STELLA. Ele também busca conhecer os fundamentos da utilização de modelos para estruturar e externalizar o pensamento, sendo os modelos construídos no STELLA entendidos como uma maneira de linguagem.

STELLA é o acrônimo para “*Structural Thinking Learning Laboratory with Animation*” sendo possível traduzir como Laboratório de Aprendizagem Experimental com Animação para o Pensamento Sistêmico. Essa ferramenta é um ambiente de modelagem computacional quantitativo, que se fundamenta na metáfora de ícones para modelar e simular de modo exploratório ou expressivo o conhecimento.

A escolha desta ferramenta, dentre as várias existentes, se deu em razão de ser um programa consolidado, amplamente utilizado e referenciado pelos pesquisadores da área de dinâmica de sistemas.

¹ Professor Assistente do curso de Engenharia Ambiental do Faculdade Araguaia., e-mail: anselmosc@gmail.com

² Mestrando em Filosofia (UFG).

³ Pós-Doutor em Planejamento de Sistemas Energéticos (UFRJ).

Além disso, o *software* STELLA possui uma interface bastante amigável com o usuário e permite um tipo diferenciado de aprendizagem por meio da estruturação e externalização do pensamento com o uso de modelos.

Este trabalho foi conduzido por meio de pesquisas bibliográficas disponíveis. Desta forma buscamos conhecer as principais contribuições metodológicas e tecnológicas para construção desta ferramenta. Partimos do pressuposto de que o software STELLA baseia-se fortemente na teoria de sistema para a construção de modelos. Ele é uma reimplementação de outra ferramenta chamada DYNAMO desenvolvida por Jay W. Forrester, membro do grupo de sistemas dinâmicos do MIT.

Atualmente, esse *software* fornece uma interface gráfica por meio da qual seu usuário pode desenhar diagramas que representem o sistema sendo modelado. O comportamento do diagrama é especificado na forma de equações diferenciais.

Acredita-se que a sistematização de conceitos sobre a prática da modelagem com a ferramenta STELLA é de grande valia para a estruturação do pensamento. Esperamos que este artigo contribua para a consolidação do uso de modelos no processo de pesquisa e aprendizado fundamentados na dinâmica de sistemas.

Fundamento Conceitual de Modelo

Inicialmente, conforme ressalta Kurtz dos Santos *et al.* (2002) para discutir o fundamento conceitual de modelo é necessário partir da obra Pensamento e Linguagem de Vygostsky. Assim, são apresentados conceitos sobre esquemas e modelos cognitivos que nos ajudam fundamentar o conceito de modelo. A respeito disso, Vygostsky (apud KURTZ DOS SANTOS, 2002) afirma que a “linguagem molda o pensamento”.

Na tentativa de compreender melhor este conceito, faz necessário retomar a leitura da introdução da obra desse primeiro autor (VYGOSTSKY, 2000) onde ressalta a capacidade que o homem tem de criar estruturas de ordem superior que, na verdade, substituem e dão novo valor às estruturas conceituais que já foram superadas a caminho do domínio de ordem superior”

Kurtz dos Santos *et al.* (2002) expõem em seu texto o que Vygostsky (2000) compreende por organização estrutural, como sendo fundamental para estabelecer o conhecimento sobre o mundo físico. Mais do que isso, registram também as seguintes afirmações: “Aprender as estruturas é aprender

como as coisas estão relacionadas”. Ou ainda que: “um elemento chave na resolução de um problema é o entendimento da estrutura subjacente da matéria de estudo”.

Nessa mesma linha de raciocínio também é exposto o entendimento que Forrester (1990) faz a propósito desse tema, ao fazer a seguinte afirmação: “uma estrutura (ou teoria) é essencial, se quisermos inter-relacionar e interpretar nossas observações, em qualquer campo do conhecimento”.

Além disso, o autor aponta que: “modelar o mesmo fenômeno em diferentes disciplinas reforçará as habilidades de resolução de problemas, de identificação das estruturas subjacentes que causam o comportamento observado”. Assim, compreende-se que a dinâmica de sistemas é um método de estudo da estrutura subjacente aos sistemas complexos para facilitar a resolução de problemas.

Assim, de acordo com Kurtz dos Santos *et al.* (2002) compreendemos que o pensamento é moldado pelas experiências e que os modelos representados por ferramentas computacionais, como o STELLA, seriam modos de expressão que moldam o pensamento do usuário, e servem também como reflexos do modelo mental do usuário sobre o mundo físico.

Modelagem e Externalização do Pensamento

Kurtz dos Santos *et al.* (2004) nos mostra que é possível estabelecer um paralelismo entre conceitos, comparando a explicação de Vygotsky para o caminho do pensamento, com o uso de ferramentas de modelagem para externalizar o pensamento.

Vygotsky (2000) explica que a relação de pensamento com palavra não é uma coisa, mas um processo, um movimento contínuo para trás e para frente de pensamento para palavra e de palavra para pensamento. Cada pensamento tende a conectar algo com alguma coisa, e estabelecer uma relação entre as coisas. Cada pensamento move-se, cresce e desenvolve, satisfazendo uma função, resolvendo um problema. Esse fluxo de pensamento ocorre como um movimento interno através de uma série de planos.

Esse movimento começa com o “motivo que engendra um pensamento para dar forma ao pensamento, primeiro na fala interna e então no significado das palavras e finalmente em palavras”. (VYGOTSKY, 2000)

Fundamentando esse problema no paralelismo proposto por Kurtz dos Santos *et al.* (2004), quando externalizamos nossos modelos mentais em uma linguagem computacional, estamos realizando o processo semelhante quando pensamos sobre algo e falamos sobre esse algo. O que mudou foi a

forma de linguagem que passou da fala para a exposição gráfica em uma ferramenta computacional. Ferramentas computacionais de boa qualidade como STELLA apresenta uma interface gráfica junto com estruturas que auxiliam o usuário a dar expressão ao pensamento. A ferramenta permite um modo de externalizar às ideias e atuar sobre estas.

Essa possibilidade fornecida pelo STELLA, de externalizar as ideias e pensar sobre elas, é de grande importância para clarificar, confrontar e modificar conceitos visto que, os modelos mentais das pessoas são frequentemente incompletos, instáveis, nebulosos, facilmente confundíveis com outros, e nem sempre capazes de serem executados ao realizar uma tarefa. Assim, interagir com um modelo no computador, que é claramente estruturado e executável, fornece pelo menos a possibilidade de clarificação e cristalização de ideias.

Modelos e Representação do Pensamento

O processo cognitivo de percepção das coisas pelos nossos sentidos e interpretação por nosso cérebro produz modelos mentais sobre o fato observado, mas não significa que este modelo mental guarda toda a essência existente no fato.

Sobre este processo, Kurtz dos Santos *et al.* (2002), diz que todo o nosso pensamento depende de modelos. Conceitos mentais são abstrações baseadas em nossa experiência. Essa experiência foi filtrada e modificada por nossa percepção individual e processos de organização, para produzir modelos mentais que representam o mundo em torno de nós.

Kurtz dos Santos *et al.* (2002) apresenta o referencial de Streitz adicionando uma funcionalidade básica **f** correspondente ao sistema alvo **a**, na representação de Norman. O referencial de Streitz ajuda a entender as várias interações existentes no delineamento e uso de sistemas computacionais como o STELLA.

Uso Exploratório e Expressivo

A ferramenta para construção de modelos STELLA, pode ser utilizada de duas maneiras distintas, porém complementares. São elas: o modo exploratório e o expressivo. No modo exploratório o estudante ou pesquisador explora um modelo já pronto no computador. Ele explora as representações e faz simulações, confrontando esse modelo com o seu próprio modelo mental e tirando suas conclusões sobre o modelo representado, sobre o sistema modelado e suas representações mentais.

A manipulação de modelos existentes promove habilidades básicas de pesquisa como por exemplo, o entendimento de causalidade e variações, e pode influenciar diretamente a aquisição de conhecimento por parte dos usuários.

No modo expressivo o estudante ou pesquisador desenvolve seus próprios modelos, apresentando suas representações da realidade modelada. Com o modelo finalizado ele tem a oportunidade de confrontá-lo com a realidade e tirar conclusões sobre seus modelos mentais. A construção de modelos promove habilidades mais gerais de resolução de problemas e transferência dessas habilidades para outras áreas de pesquisa.

Conceitos Estruturais de Sistemas

O processo de modelagem realizado com software STELLA tem como base conceitual-filosófica a teoria de sistemas, portanto, é necessário que revisemos os conceitos aplicados por esta ciência.

Por meio de estudos e observações os pesquisadores perceberam que há coisas comuns nas diferentes áreas do conhecimento, há problemas semelhantes que podem ser resolvidos com soluções semelhantes. Apesar de o mundo apresentar-se de forma complexa e multiforme, sempre encontramos diferentes tipos de organização nele. O aspecto que parece distinguir os organismos é o seu grau de organização. Tal organização pode ser descrita por princípios e conceitos que são independentes de um domínio específico para o qual olhamos. A teoria de sistemas é resultante dessas observações.

O surgimento da teoria de sistemas está ligado a dois grandes pensadores das décadas de 1960, que apresentam teorias que se encontram ao longo do tempo: o primeiro é Ludwig von Bertalanffy, sua principal obra foi o livro “General System Theory” publicado em 1968. Sua teoria anuncia uma nova visão do mundo e seus trabalhos tiveram como base a biologia. O segundo, Jay W. Forrester enunciou a teoria de sistemas a partir de processos de gerenciamento. Os seus trabalhos datam da década de 1960. Seu principal livro sobre sistemas foi intitulado: Princípio de Sistemas de 1971.

Apesar de seus trabalhos tratarem de uma teoria comum, porém de assuntos diversos, e serem datados da mesma época, nenhum dos autores tiveram conhecimento ou fizeram citação um do outro.

Sistema é “um agrupamento de partes que operam juntas com um propósito comum” Kurtz dos Santos *et al.* (2002), ou seja, um conjunto de elementos inter-relacionados com um objetivo comum. Em um sistema, o todo é diferente da somatória das partes, assim as partes continuam existindo no todo

e a somatória ou interação das partes gera uma nova singularidade chamada ‘todo’ com propriedades que lhe são próprias ou emergentes.

Os sistemas podem ser classificados em aberto ou fechado. Um sistema aberto importa e exporta matéria, energia e informações do seu ambiente para tentar atingir um objetivo, já o sistema fechado não realiza nenhum tipo de importação ou exportação.

Os sistemas fechados possuem “uma estrutura de elo fechada que traz os resultados da ação passada de volta para controlar a ação futura”, já o sistema fechado é influenciado por seu próprio comportamento passado, ou seja, um mecanismo de retroalimentação garante que o objetivo do sistema seja alcançado.

A dinâmica de sistemas nos conduz de um pensamento linear para um sistêmico, onde os eventos se relacionam entre si. Isto é conduzido por meio de pensamento sistêmico, interpretado como uma técnica de resolução de problemas que empregam modelos e simulações para analisar as alterações em um determinado fenômeno. O pensamento sistêmico abrange muitos conceitos de dinâmica de sistemas, principalmente a retroalimentação.

Para Forrester (1990), o pensamento sistêmico pode ser resumido nas seguintes dimensões centrais: na construção de modelos, na distinção entre realidade e modelo; pensamento sobre os ciclos de retroalimentação e as estruturas inter-relacionadas, além das relações causa-efeito; reconhecimento de padrões de comportamento ao longo do tempo (oscilações e atrasos) ao invés de uma análise instantânea de eventos e direcionamento sobre sistemas para tomar a decisão certa na hora e lugares apropriados.

Forrester (1990) desenvolveu uma técnica de modelagem e simulação de sistemas complexos, baseados no conceito da relação causa-efeito e na retroalimentação. Para isto, ele usa um diagrama denominado de diagrama causal, mostrando a inter-relação das variáveis que fluem no sistema.

Entendemos o mecanismo de retroalimentação como a transmissão da informação sobre o desempenho de um sistema para um estágio anterior a fim de modificar sua operação. Os sistemas de retroalimentação podem ser positivos ou negativos. Os positivos geram um processo de crescimento onde a ação passada constrói um resultado que gera ainda maior ação. Um exemplo é a multiplicação de bactérias onde a taxa de crescimento posterior depende do número de bactérias geradas na multiplicação passada. Os sistemas de retroalimentação negativos procuram um objetivo e respondem à falha em atingir o objetivo.

Os diagramas causais e de fluxo são técnicas para representar sistemas. Os diagramas causais são utilizados para delimitar um sistema estabelecendo relações de causa e efeito entre as variáveis. Neste processo, com poucas setas e palavras, um pesquisador é capaz de expressar seu modelo mental sobre a estrutura subjacente ao problema.

Os diagramas causais interagem entre as variáveis de um sistema ou de um elo de retroalimentação utilizando flechas positivas e negativas. Flechas ou elos positivos influenciam as variáveis positivamente e as flechas ou elos negativos afetam negativamente.

Por exemplo, na interação positiva ($X \rightarrow +Y$), se X aumenta, Y aumenta, se X diminui, Y diminui. Na interação negativa ($X \rightarrow -Y$), se X aumenta, Y diminui e se X diminui, Y aumenta. Vejamos o exemplo na figura abaixo:

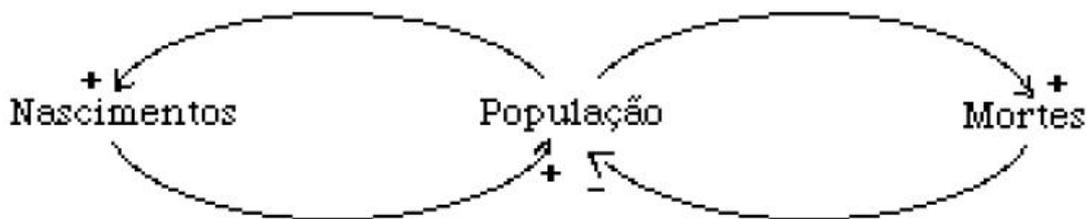


Figura 1: Diagrama causal para população . Adaptada de:

Este diagrama nos mostra a interação entre três elementos do sistema: nascimentos, população e mortes. Essas interações são efetivas para comunicar como um processo de elo fechado trabalha, entretanto elas não conseguem incorporar as informações quantitativas e não fazem distinção entre níveis e taxas.

Já os diagramas de fluxo conseguem incorporar informações quantitativas e fazem distinção entre coisas que fluem (taxas) e coisas que acumulam (níveis). Nos diagramas de fluxo é possível incorporar às variáveis equações diferenciais e estabelecer quais constantes influenciam o comportamento dos elos de retroalimentação. Vejamos a figura abaixo:

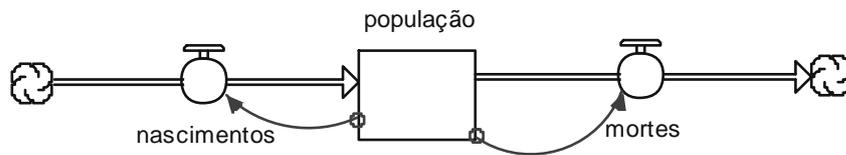


Figura 2: Diagrama de fluxo para população. Fonte: Kurtz dos Santos (1994)

Neste diagrama, a população é o nível do sistema e é representado por um retângulo. Os nascimentos e mortes são as taxas que influenciam o nível. As linhas vermelhas representam os elos de retroalimentação em que o tamanho da população influencia positivamente a quantidade de nascimentos e quantidade de mortes.

Variáveis de Níveis e Taxas

De maneira geral, um modelo matemático construído no STELLA é um sistema de equações diferenciais compostas por variáveis e parâmetros. Os parâmetros são constantes, os quais mantêm seu valor inalterado durante todo o processo estudado.

Assim, um parâmetro possui o mesmo valor para todos os intervalos de tempo, o que não significa que ele não possa variar espacialmente. Já as variáveis podem mudar ao longo do tempo que o modelo estiver sendo executado. Pode-se distinguir dois tipos de variáveis num modelo: a primeira chamada variável de nível ou estado, é o foco de estudo do modelo. Haverá sempre uma equação diferencial relacionada a esta variável. O estado de um sistema pode ser descrito apenas checando-se o valor de cada variável de estado; o segundo tipo de variável num modelo é a variável de taxa, chamada por alguns autores de política, também chamada de fluxo.

As variáveis de taxas nos darão por meio de métodos de derivação a taxa de variação. Tipicamente, os fluxos são calculados como função das variáveis de estado, também os parâmetros serão utilizados no cálculo dos fluxos.

Os níveis integram (ou acumulam) os resultados da ação num sistema. As variáveis de níveis não podem mudar instantaneamente. Uma variável de nível é computada pela mudança, devido às variáveis de taxas, que alteram o valor prévio do nível. Ele é alterado por taxas que fluem no intervalo de tempo. Já as variáveis de taxa não podem interagir diretamente. Elas só podem interagir por meio da influência sobre variáveis do sistema. Nenhuma taxa pode ser medida instantaneamente. Todos os

instrumentos para medir taxas na verdade requerem tempo para funcionamento. Eles medem não a taxa instantânea, mas a taxa média sobre algum intervalo de tempo. Uma taxa média é um nível, não uma taxa. A verdadeira taxa é a ação instantânea da qual está sendo tirada a média.

Observando esta definição e outras complementares propostas por Kurtz dos Santos *et al.* (2002), podemos fazer as seguintes observações:

1. os níveis são acumulações do efeito da ação passada e continuam existindo e podem ser observados mesmo quando a ação para. Já as taxas são variáveis de ação, e cessam quando a ação para;
2. taxas não interagem diretamente sobre outras taxas, elas precisam ser integradas a variável nível. Nenhuma taxa em um instante pode depender de outras taxas no mesmo instante;
3. o valor de uma taxa depende somente de constantes e dos valores atuais das variáveis níveis;
4. os níveis contêm toda a história disponível do sistema. Os níveis determinam completamente a condição do sistema. As variáveis de taxas não são necessárias porque podem ser computadas a partir dos níveis.

Método de Integração entre Sistemas no Stella

O programa STELLA oferece uma grande variedade de métodos numéricos de integração disponível em seu sistema, que é de grande importância para a integração entre sistemas.

A integração no programa é feita por meio de equações diferenciais (compostas por variáveis de níveis e taxas), que fornece a solução exata da equação, por métodos de derivação e integração, onde são relacionados as variáveis de taxas (fluxos), com as variáveis de níveis (estoque).

Para exemplificar o método de trabalho do programa STELLA, Xavier (2003) apresenta um exemplo de equação diferencial e sua solução que pode ser modelada com este software:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -0,1x \\ \int_{x_0}^x \frac{dx}{x} &= -0,1 \int_{t_0}^t dt \\ \ln \frac{x}{x_0} &= -0,1(t - t_0) \\ x &= x_0 e^{-0,1(t-t_0)}\end{aligned}$$

Se atribuirmos valores iniciais para $t_0 = 0$ e para $x_0 = 100$ obterá a seguinte equação:

$$x = 100e^{-0,1t}$$

Essa simulação no STELLA será apresentada pelas equações abaixo, onde o t representa o tempo de simulação.

$$\begin{aligned}x(t) &= x(t - dt) + (- taxa) * dt \\INIT x &= 100 \\taxa &= constante*x \\constante &= 0.1.\end{aligned}$$

Para James Stewartt (2006) a ligação entre a derivação e a integração feita por Newton e Leibniz, chamada Teorema Fundamental do Cálculo reuniu os cálculos diferencial e integral, tornando-os a ferramenta mais poderosa que os matemáticos já obtiveram para entender o universo. Para explicarmos resumidamente estes métodos iremos apresentar a definição e o significado de cada um destes métodos.

O processo de derivação se dá pela derivada de uma função $f'(x)$ ou dy/dx , que pode ser interpretada como a taxa de variação instantânea de y em relação a x.. Sempre que uma função $y=f(x)$ tiver uma interpretação específica em um sistema, sua derivada terá uma interpretação específica como a taxa de variação da função. Exemplo: se x varia de x_1 para x_2 então a variação de x será:

$$x = x_2 - x_1$$

e a variação correspondente em y será:

$$y = f(x_2) - f(x_1)$$

O quociente da diferença é a taxa de variação de y em relação a x.

$$\frac{y = f(x_2) - f(x_1)}{x = x_2 - x_1}$$

Usando a representação de Leibniz apresentada por James Stewartt compreendemos este processo da seguinte forma:

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

O processo de integração se dá pela integral indefinida $F(x) + C$ da função $f(x)$, que fornece a solução geral $y=F(X) + C$ da equação $dy/dx = f(x)$. A integral pode ser interpretada como o teorema da variação total, ou seja, a integral de uma taxa é a variação total. Exemplo:

$$f(x) dx = f(b) - f(a)$$

Resolvemos a equação determinando a Solução Geral, assim a partir dela podemos resolver o problema do valor inicial determinando a solução particular que satisfaz a condição inicial $y(x_0) = y_0$. Resolver o problema de valor inicial é importante na modelagem matemática, pois este é o processo pelo qual pesquisadores usam para conhecer melhor o mundo real.

No programa STELLA as equações diferenciais são simuladas considerando o tempo como a variável dependente, onde o processo de derivação fornece a taxa de variação, que pode ser crescente ou decrescente dependendo do sistema, em relação ao tempo, logo a integração fornece a variação total em relação ao tempo. O resultado deste processo é um gráfico ou uma tabela onde são mostrados os valores ao longo do tempo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho descobrimos que todo o nosso conhecimento provém de representações de objetos, processos e conceitos. Estas representações podem ser entendidas como modelos, nos quais nosso pensamento está fundamentado.

O STELLA se apresenta como uma linguagem de fácil manuseio, para ser usada no processo de construção e representação do pensamento. Os modelos representados no STELLA, seriam modos de expressão que moldam o pensamento do usuário e refletem o que o ele pensa sobre o fenômeno a ser modelada. Este fato é fundamental para o uso exploratório e expressivo da ferramenta. Exemplo disso são os trabalhos de educação ambiental que podem ser realizados com estudantes de vários níveis, o que já tem sido realizado por um grupo de pesquisadores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul coordenado pelo professor Dr. Arion de Castro Kurtz dos Santos.

Além disso, o STELLA nos permite fazer simulações de sistemas dinâmicos ao longo do tempo, por meio de equações diferenciais. Isso o torna um instrumento de grande potencial para representação de sistemas ambientais, uso no ensino de ciências e de processos gerenciais.

Por apresentar esta forma de modelar, é possível utilizar o STELLA para realizar simulações de sistemas ambientais complexos. Por exemplo: representação de bacias hidrográficas, ciclos biogeoquímicos, dinâmicas de populações, dentre outros.

Portanto esperamos que este trabalho contribua para a consolidação do uso de modelos no processo de pesquisa e aprendizado fundamentados na dinâmica de sistemas. O STELLA é uma das diversas ferramentas que oferece esta possibilidade de forma simples e clara.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Forrester, J. W. (1990) **Principles of Systems**. Productivity Press, Portland, OR.(Disponível no sítio eletrônico: http://ilk.media.mit.edu/papers/archive/Zuckerman_SystemBlocks_CHI03.pdf)

KURTZ DOS SANTOS, Arion de Castro. **Introdução à Modelagem Computacional na Educação** (Versão revisada e atualizada) Setembro de 1994/Atualizada em Abril de 2002.

KURTZ DOS SANTOS, Arion de Castro. **Complexidade e a utilização de ferramentas computacionais no ensino e pesquisa**. Rev. eletrônica Mestr. Educ. Ambient. Volume especial, Outubro de 2004. Página da palestra: <http://www.fisica.furg.br/arion/implementando ambientes>.

KURTZ DOS SANTOS, Arion de Castro; CHO, Yoshihisa; ARAUJO, Ives Solano; e GONÇALVES, Geovane Pedra. **Modelagem computacional utilizando Stella: considerações teóricas e aplicações em gerenciamento, Física e Ecológica de Sistemas**. Ed. FURG, Porto Alegre. 2002. Disponível no sítio eletrônico: www.fisica.furg.br/arion/livrostel/index.html.

STEWART, James, **Cálculo I**. Tradução Técnica Antônio Carlos Moretti. Editora: Cenagage Learning, 2010.

VYGOTSKY, Lev Semenovitch; **Pensamento e Linguagem**. Tradução do Inglês para o Português. Editora: Martins Fontes 2ª edição, 1998. 3ª tiragem, novembro de 2000.

XAVIER, Flávio Galdino; SANTOS, Arion de Castro Kurtz dos. **A modelagem computacional, Utilizando o Laboratório de Aprendizagem Experimental com Animação para o Pensamento Sistêmico (STELLA), em Tópicos de Educação Ambiental**. XIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação - NCE - IM/UFRJ 2003.

Recebido em 05 de junho de 2013.

Aprovado em 20 de junho de 2013.