



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**Modelos Computacionais para Simulação do Processo de Expansão da
Esquistossomose na Área Litorânea de Pernambuco**

Jones Albuquerque
(Coordenador do Projeto)

Intituições participantes

Departamento de Estatística e Informática - DEINFO/UFRPE
Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães - CPqAM/FIOCRUZ
Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto - GEOCERE/UFRPE
Laboratório de Realidade Virtual e Visualização Científica – SVVR/LNCC

Maio.2006

Sumário

Caracterização e justificativa	3
Modelos matemático-computacionais	3
Imagens como fonte de informação	4
Por que modelos computacionais para estudar a esquistossomose em Pernambuco?..	6
Caracterização da gravidade do tema e da área-piloto de estudos	7
Objetivos gerais	7
Metas.....	8
Atividades e metodologia de execução	8
Projetos relacionados, associados aos pesquisadores colaboradores.....	10
Recursos estimados.....	11
Bibliografia.....	11

Caracterização e justificativa

O ritmo acelerado de ocupação dos espaços urbanos, nas grandes cidades de regiões subdesenvolvidas, vem se refletindo no agravamento do quadro sanitário e de pobreza das mesmas. O modo de ocupação desses ambientes urbanos periféricos, de maneira caótica e desordenada, é atualmente um grande desafio para as autoridades sanitárias, gerando novos problemas de saúde e ampliando a demanda assistencial dos serviços. A expansão da esquistossomose é, muitas vezes, atribuída meramente à migração de pessoas infectadas para áreas indenes e à dispersão dos hospedeiros intermediários. Essa interpretação não considera os condicionantes do evento migratório, ou seja, seus componentes sociais, econômicos e comportamentais.

O trabalhador da zona canvieira de Pernambuco apresenta, há décadas, elevadas prevalências para esquistossomose mansônica e outras parasitoses. A recente mecanização da agricultura vem agravando a crise social no campo, promovendo o deslocamento de contingentes humanos desempregados. Estes, ao ocuparem a periferia das grandes cidades onde não existem condições básicas de saneamento e moradia, propiciam o surgimento de focos urbanos, mudando o perfil epidemiológico das doenças de transmissão vetorial.

Apesar dos esforços da Fundação Nacional de Saúde (FNS/PE), persistem situações de prevalências crônicas nas regiões rurais com até 80% de indivíduos parasitados, ou também, casos de infecção aguda, como os que vêm ocorrendo no litoral do Estado, em áreas de recente introdução da doença. Ainda, a literatura destaca a falta de dados epidemiológicos referentes à cidade do Recife e vizinhanças que permitam a identificação e a evolução desses focos urbanos [Barbosa04, Barbosa01].

Neste contexto, propor modelos - que possibilitem a geração de cenários para que a partir destes sejam tomadas ações estratégicas de combate e prevenção da doença otimizando a utilização dos recursos públicos - se torna extremamente relevante para a comunidade científica, para o Estado e, mais ainda, para a sociedade.

Modelos matemático-computacionais

O termo *Modelo* é abstratamente definido como uma estrutura que está sendo construída para exibir e enaltecer particularidades e características de alguns objetos [Wil97]. Geralmente algumas destas particularidades e características serão completamente capturadas no modelo dependendo do uso para o qual o modelo está sendo proposto. Assim, torna-se possível fazer previsões e análise de comportamentos futuros dos objetos modelados. Contudo, a qualidade das respostas para as quais o modelo foi proposto depende da precisão da estrutura computacional e dos dados que alimentam o modelo. A literatura apresenta várias abstrações matemático-computacionais para auxiliar a modelagem e previsibilidade de comportamentos de objetos, entre elas podemos citar os de competência dos pesquisadores colaboradores deste projeto: Programação Matemática e Autômatos Celulares:

1. *Modelos de Programação Matemática* são os modelos comumente utilizados quando não se tem a real dimensão do escopo da solução proposta, ou seja, o espaço de solução está definido, mas é mal-condicionado provocando grandes alterações nas respostas mediante pequenas alterações nos dados.

Particularmente, modelos envolvendo Programação Linear Estocástica conseguem restringir o espaço de solução através de iterações e sugerir comportamentos e análise de características de objetos nas mais diversas áreas do conhecimento [Albuq01a, Albuq01b]. Modelos em otimização se tornam úteis quando o tamanho e a complexidade dos problemas crescem. Tais problemas são muitas vezes tratados ignorando-se a distribuição estatística dos dados e, por conseguinte, seu comportamento como entrada de modelos matemático-computacionais.

2. *Autômatos Celulares* [Wolfram02] que representam sistemas dinâmicos, onde o tempo e o espaço são discretos, vêm sendo utilizados na literatura como modelos matemático-computacionais para simulação de objetos incluindo em epidemiologia. Tais sistemas conseguem gerar espaços de solução os mais variados possíveis configurando cenários de previsibilidade. Assim, é possível, com auxílio de especialistas filtrar tais cenários para garantir determinado grau de confiança nas respostas do modelo. Mesmo assim, quando o conjunto de variáveis é grande, o grau de previsibilidade pode não colaborar para uma aplicação prática na qual se deseja obter planejamento estratégico a partir das respostas dos modelos. Além do tempo computacional previsto para simulação de tais modelos ser um aspecto restritivo quando o conjunto de cenários se torna complexo [Wilson03].

Imagens como fonte de informação

Por outro lado, uma vez resolvido o modelo mais adequado, as respostas obtidas por um modelo computacional serão mais fiéis quanto mais fiéis forem seus dados de entrada. Para o caso da modelagem do processo de expansão da esquistossomose, os dados dos inquéritos parasitológicos, dos questionários aplicados à população infectada e dos dados epidemiológicos da doença obtidos pelo CPqAM/FIOCRUZ fornecem uma base bastante variada e de extrema relevância para o estudo proposto.

Contudo, neste projeto, a proposição do modelo pretende cruzar a base de dados do CPqAM/FIOCRUZ com informações fornecidas por imagens de satélite para tentar capturar o aspecto de migração e contaminação temporal-geográfico das populações envolvidas. As imagens serão obtidas e processadas pelo GEOCERE - Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto da UFRPE. Funcionando desde o final de 2001, a estação é fruto de uma parceria entre a UFRPE e o Centro Aeroespacial Alemão. Desde então, são feitos levantamentos periódicos de imagens a respeito do clima, relevo e vegetação de diversas áreas do país. Mapeamentos sobre desertificação e erosão do solo, atividades pesqueiras e oceanográficas são algumas das pesquisas desenvolvidas com base nas imagens captadas pela RSS – Recife Receiver Station, estação receptora de imagens de satélite.

O sensoriamento remoto é definido por Lillesand & Kiefer (1987) como "a ciência e arte de receber informações sobre um objeto, uma área ou fenômeno pela análise dos dados obtidos de uma maneira tal que não haja contato direto com este objeto, esta área ou este fenômeno". Para se obter estas informações, usa-se um meio que, neste caso, é a radiação eletromagnética, supondo que esta possa chegar diretamente ao sensor. Isto, no entanto, não é possível em todas partes do espectro eletromagnético, porque a transmissividade atmosférica é variável para os diversos comprimentos de onda.

As imagens de satélites estão sendo cada vez mais utilizadas em qualquer atividade que de alguma forma envolve o conhecimento do revestimento do solo a nível regional. Com o advento dos dados de imagens de alta resolução de satélites como o Landsat Thematic Mapper (TM) e Spot High Resolution (HRV), estudos são realizados para acessar o potencial das técnicas de processamento digital de imagens para mapear, monitorar e planejar, como ilustrado nas Figuras 1 e 2, cedidas pelo GEOCERE/UFRPE.



Figura 1. Exemplo de Carta Temática (Uso do Solo) construída a partir de Imagens de satélite (SPOT) integrada a dados do GIS.



Figura 2. Exemplo de Ortofotomapa – Orto-imagem (aerofoto ou imagem de satélite) com informações de coordenadas e legenda explicativa.

O conhecimento atualizado da distribuição e área ocupada pela população em áreas rurais, urbanas e edificadas, bem como informações sobre as proporções das mudanças, se tornam cada vez mais necessárias a legisladores e planejadores. Informações atualizadas de uso e revestimento da terra podem ser úteis no inventário de recursos

naturais, controle de inundações, identificação de áreas com processos perenes e/ou temporários, avaliação de impactos ambientais, formulação de políticas econômicas e ações de impacto social.

O levantamento do uso da terra em determinada região tornou-se um item fundamental na compreensão de padrões de organização do meio ambiente. Assim, existe a necessidade de atualização constante dos registros de uso do solo para análise de tendências. Neste contexto, o Sensoriamento Remoto é uma técnica bastante útil. Permite obter, em curto prazo, grande quantidade de informação sobre registros de comportamento e monitoramento do meio ambiente.

Assim, pretende-se, especificamente neste projeto, capturar e processar imagens de forma a constituir uma base de informação temporal dos mananciais de água da área litorânea de Estado de Pernambuco, especificamente das áreas identificadas como foco de contaminação por esquistossomose. Desta forma, o objetivo é tornar os modelos matemático-computacionais propostos mais precisos em suas respostas cruzando os dados de como os mananciais de água se comportam durante as estações chuvosas do ano com as informações epidemiológicas coletadas pelo CPqAM/FIOCRUZ.

Por que modelos computacionais para estudar a esquistossomose em Pernambuco?

O processo da reprodução e urbanização da esquistossomose em Pernambuco vem sendo discutido por [Barbosa05] a partir dos resultados de inquéritos epidemiológicos. O presente trabalho é parte de um projeto maior intitulado "Ecoepidemiologia da Esquistossomose no Litoral de Pernambuco" do CPqAM/FIOCRUZ que diagnosticou 22 casos autóctones de esquistossomose na Praia do Forte Orange, ilha de Itamaracá, todos veranistas e/ou turistas de classe média/alta que tiveram exposição acidental. Projetos, como este, objetivam mapear e caracterizar criadouros e focos dos vetores da esquistossomose, identificando novos sítios de transmissão ativa da parasitose na localidade. E, ainda, correlacionar os determinantes biológicos da doença com o contexto ambiental da sua ocorrência.

Assim, é notável a carência de um modelo matemático-computacional para auxiliar a composição de cenários e o estudo do processo de expansão da doença. É necessário prover as autoridades de insumos e dados de como a doença vem se comportando e melhor, sugerir cenários futuros de comportamento para planejamento estratégico objetivando otimizar a utilização de recursos no combate e prevenção da doença no estado de Pernambuco.

Vários modelos matemático-computacionais têm sido propostos com o objetivo de capturar as particularidades e características de comportamento dos vetores de propagação de doenças na área de epidemiologia. Entretanto, particularmente no estudo da esquistossomose, os trabalhos encontram-se em fase de diagnose com a descoberta de focos e áreas de contaminação a cada ano. Todos os estudos recentes realizados na área litorânea de Pernambuco concluem ser grave o novo perfil epidemiológico da esquistossomose no estado, especialmente no que se refere à expansão nas áreas litorâneas do Estado. Destaca-se a repercussão social e econômica que este evento representa, considerando que essas são áreas nobres do ponto de vista de atrativos para

o turismo e de fonte de renda para um Estado que tenta implementar o turismo ecológico.

Especificamente, este projeto prever o acompanhamento da caracterização de um foco e a coleta e armazenamento de dados da investigação que o CPqAM/FIOCRUZ - Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães/FIOCRUZ - estará realizando na região de Carne de Vaca, Goiana, PE. Para, a partir desta caracterização, projetar e desenvolver um modelo matemático-computacional que capture as variáveis mais relevantes de todo o processo incluindo as informações das imagens de satélite. E, a partir de então, calibrar tal modelo para se tornar uma efetiva ferramenta de auxílio e trabalho destes pesquisadores neste projeto e em seus futuros estudos epidemiológicos em esquistossomose.

Caracterização da gravidade do tema e da área-piloto de estudos

Carne de Vaca localiza-se no Distrito de Pontas de Pedras, Município de Goiana, distante 60 km da Cidade do Recife. Com aproximadamente 1.200 habitantes, freqüentada por veranistas e turistas em finais de semana e veranistas. Recentemente, janeiro de 2006, foi instalada uma balsa para a travessia do Rio Goiana, na divisa dos Estados de Pernambuco e Paraíba, o que provocou um aumento na população de turistas que transita pelo local.

Em 2005, o Serviço de Referência em Esquistossomose do Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães/FIOCRUZ realizou inquérito malacológico na localidade detectando dois (2) focos de transmissão da Esquistossomose a partir de coleta e diagnóstico de moluscos vetores infectados pelo *Schistosoma Mansoni*. Nesta ocasião a equipe de pesquisas do CPqAM/Fiocruz também identificou quatro (4) residentes locais submetidos a cirurgia (esplenectomizados) para retirada de baço, o que indica a gravidade da transmissão da doença nesta comunidade.

Diante desses graves indicadores, os pesquisadores do Departamento de Parasitologia do CPqAM/FIOCRUZ e parceiros iniciarão um inquérito epidemiológico nesta área para verificar a real expressão da morbidade da esquistossomose nesta comunidade diagnosticando os casos humanos positivos e oferecendo aos serviços locais de saúde estratégias para o controle da doença e tratamento efetivo dos doentes.

Objetivos gerais

Este projeto pretende prover a sociedade, o Estado e a comunidade científica de modelos matemático-computacionais para auxiliar o controle da esquistossomose em Pernambuco. A sociedade, pois estar-se-á melhorando o nível de controle e, conseqüentemente, do serviço prestado pelos órgãos públicos à população afetada pela doença. O Estado, pois possuirá cenários para poder otimizar a distribuição de seus recursos financeiros e humanos no monitoramento, controle e combate da doença. A comunidade científica, pois espera-se que os modelos propostos para a previsibilidade de comportamentos em esquistossomose contribuam para o estado-da-arte em epidemiologia e matemática computacional, uma vez que são áreas carentes de contribuições computacionais que as viabilizem como parceiras. Além de prover um estudo de comportamento de máquinas computacionais abstratas como os Autômatos Celulares, as quais, no Brasil, não há grupo consolidado que as estude em seus aspectos teórico-computacionais.

Metas

1. Organizar as informações coletadas por pesquisadores do CPqAM/FIOCRUZ na área de Carne de Vaca, Goiana, PE em um banco de dados gerenciável e com possibilidade de consultas, recuperação e indexação da informação;
2. Alimentar o banco de dados com informações históricas de comportamento da doença e seus aspectos epidemiológicos;
3. Estudar a viabilidade computacional, implementar e calibrar modelos matemático-computacionais envolvendo programação linear estocástica e autômatos celulares para previsibilidade comportamental do processo de expansão da esquistossomose na área litorânea do estado de Pernambuco;
4. Capturar e processar imagens de forma a constituir uma base de informação temporal dos mananciais de água da área litorânea de Estado de Pernambuco; especificamente das áreas identificadas como foco de contaminação por esquistossomose, tornando os modelos matemático-computacionais propostos mais precisos em suas respostas pois irão cruzar os dados de como os mananciais de água se comportam durante as estações chuvosas do ano com as informações epidemiológicas coletadas por pesquisadores do CPqAM/FIOCRUZ;
5. Selecionar os melhores modelos e viabilizá-los como ferramenta de trabalho para os pesquisadores em parasitologia;
6. Gerar relatórios de previsibilidade e acompanhamento da doença como instrumento estratégico para a Secretaria de Saúde do estado de Pernambuco;
7. Gerar relatórios com Mapeamento das Áreas e estudo de previsibilidade comportamental a partir das imagens de satélite processadas;
8. Analisar como os modelos propostos para a área litorânea de Pernambuco se comportam em outras zonas de contaminação por esquistossomose;
9. Divulgar nos meios de divulgação científica os resultados obtidos.

Atividades e metodologia de execução

- 1. Organizar as informações coletadas por pesquisadores do CPqAM/FIOCRUZ na área de Carne de Vaca, Goiana, PE em um banco de dados gerenciável e com possibilidade de consultas, recuperação e indexação da informação;**
- 2. Alimentar o banco de dados com informações históricas de comportamento da doença e seus aspectos epidemiológicos;**

Para estas atividades de caráter mais técnico será utilizado um Sistema Gerenciador de Conteúdos (CMS) (<http://www.cmsmatrix.org/>) instalado como um servidor WEB e acessível pelos membros do projeto através de login e controle por senha. As informações serão alimentadas pelo próprio pesquisador ou técnico que coletar a informação. Assim consultas serão formuladas pelos pesquisadores distribuídamente. Pois um CMS oferece ferramentas simples, todas acessadas através de qualquer navegador (Internet Explorer, Netscape, Firefox), que permite realizar todo o processo de gerência, desde a criação até o arquivamento do conteúdo, incluindo controle versão e recuperação da informação armazenada através de um engenho de busca. Nesta fase da coleta dos dados, os pesquisadores

estarão participando em campo das visitas à localidade de Carne de Vaca realizadas pelos pesquisadores do CPqAM/FIOCRUZ para tentar refinar e otimizar a coleta de informações do ponto de vista sistêmico, visando uma melhor organização do banco de dados.

3. Estudar a viabilidade computacional, implementar e calibrar modelos matemático-computacionais envolvendo programação linear estocástica e autômatos celulares para previsibilidade comportamental do processo de expansão da esquistossomose na área litorânea do estado de Pernambuco;

A escolha de modelos computacionais para análise de comportamentos de objetos e análise de previsibilidade baseada nesta análise é tema de pesquisa nos mais variados programas de Pós-Graduação do país, desde programas em Física como nos recém-criados programas de Matemática-Computacional. Entretanto a área de computação não estuda esta máquina abstrata do aspecto teórico-computacional. Este é o tema científico deste projeto no quesito computação. Assim, pretende-se formar capital humano em máquinas abstratas de computação como Autômatos Celulares e Programação Estocástica Linear. Tal capacitação se dará pela consolidação de um grupo de pesquisa que já se reúne periodicamente, vide: <http://www.lc.ufrpe.br/ca/> e com a participação dos pesquisadores colaboradores em cursos de modelagem computacional no LNCC e aqui na UFRPE. Ainda, utilizar o conhecimento dos pesquisadores colaboradores deste projeto que já estão imersos neste estudo em suas atividades individuais para especificar e gerenciar a implementação dos sistemas computacionais envolvendo os respectivos alunos associados aos programas de pós-graduação aos quais estão vinculados. Os pesquisadores colaboradores deste projeto possuem experiência na implementação de modelos computacionais como ocorreu comono Projeto SIMULARE – An Open Tool for Simulation, disponível em <http://xsimulare.tigris.org/>.

Inicialmente serão modelados os dados da área de Carne de Vaca, Goiana, para posteriormente avaliar a escalabilidade do modelo para demais localidades de ocorrência da esquistossomose.

4. Capturar e processar imagens de forma a constituir uma base de informação temporal dos mananciais de água da área litorânea de Estado de Pernambuco; especificamente das áreas identificadas como foco de contaminação por esquistossomose, tornando os modelos matemático-computacionais propostos mais precisos em suas respostas pois irão cruzar os dados de como os mananciais de água se comportam durante as estações chuvosas do ano com as informações epidemiológicas coletadas por pesquisadores do CPqAM/FIOCRUZ;

Tal atividade será realizada no GEOCERE/UFRPE, o qual já possui larga experiência em análise e processamento de imagens. O cruzamento das bases de dados textuais com as informações obtidas das imagens gráficas se dará pela indexação das imagens por comentários de texto no gerenciador de conteúdos do projeto. Assim, as imagens serão inicialmente comentadas em suas características e dados e então inseridas na base de dados indexada.

5. Selecionar os melhores modelos e viabilizá-los como ferramenta de trabalho para os pesquisadores em parasitologia;

A execução desta atividade se dará por meio da experiência de membros do grupo em atividades como esta: transformar um protótipo em um produto com conceitos de engenharia de software utilizando o conceito de Fábricas de Software, vide <http://www.fabricadesol.com/in953/>.

6. Gerar relatórios de previsibilidade e acompanhamento da doença como instrumento estratégico para a Secretaria de Saúde do estado de Pernambuco;

7. Gerar relatórios com Mapeamento das Áreas e estudo de previsibilidade comportamental a partir das imagens de satélite processadas;

8. Analisar como os modelos propostos para a área litorânea de Pernambuco se comportam em outras zonas de contaminação por esquistossomose;

Esta análise se dará alimentando diversas bases de dados de outras localidades de ocorrência da doença e comparando os dados em seus aspectos estatísticos para verificação de comportamento dos mesmos quanto ao modelo proposto para Carne de Vaca, Goiana. Assim, poder-se-á observar e sugerir se o modelo proposto pode ser aplicável em outras instâncias de ocorrência da doença.

9. Divulgar nos meios de divulgação científica os resultados obtidos.

Projetos relacionados, associados aos pesquisadores colaboradores

Constança Barbosa
Ecoepidemiologia dos Focos de Vetores da Esquistossomose no Litoral de Pernambuco.

Hernande Pereira da Silva
Mapeamento Vegetacional e Conservação do Parque Nacional de Catimbau, Buique Pernambuco

Jones Albuquerque
X-Simulare - An Open Tool for Simulation, disponível em <http://xsimulare.tigris.org/>

Paulo Sérgio Silva Rodrigues
CT-Saúde: Reconstrução de Próteses Craniofacial e Previsibilidade de Resultados

Wilson Rosa
Redes Neurais e os Modelos Não-Convencionais de Computação

Recursos estimados

A estimativa de recursos a serem utilizados no projeto encontra-se resumida na Tabela.

Descrição	Justificativa	Atividades	Custo unit.(R\$)	Qtde	Custo total (R\$)
Workstation	Processamento de dados	Todas	7.000,00	01	7.000,00
Licença de software	Processamento de dados	Todas	7.580,00	01	7.580,00
Imagens de alta resolução espacial	Base temática para estudo nas áreas afetadas e identificação dos pontos de interesse	Todas	64,40	100K m ²	6.440,00
No Break 1,4 KVa	Estabilidade dos trabalhos digitais independentes da oscilação da tensão elétrica	Todas	560,00	02	1.120,00
Plotagem	Impressão dos mapas	Todas			1.500,00
Desktops servidor CMS	Armazenamento de dados e implementação de modelos	Todas	5.000,00	2	10.000,00
Material Bibliográfico	Livros	Todas	150,00	20	3.000,00
Serviços terceiros	Trabalho de Campo	Todas	300,00	10	3.000,00
Passagens e Diárias	Cursos e eventos	Todas	2.000,00	4	8.000,00
Material Consumo	Reparos de equipamentos e móveis	Todas	200,00	10	2.000,00
TOTAL					49.640,00

Tabela 1. Resumo dos recursos a serem utilizados no projeto.

Bibliografia

[Albuq05] Cavalcanti, A.P.; Lucena, L. R. ; Rodrigues, M. J. N. ; Moraes, A. K. O. ; Fernandes, D. ; Pereira, S. C. ; Albuquerque, J. O. ; Meira, S. R. L. . **Towards an Open Source Software Factory**. In: ESELAW05 - 2nd Experimental Software Engineering Latin American Workshop, 2005.

[Albuq01a] Albuquerque, J. O. ; Coelho JR, C. **A Stochastic Approach for Conceptual Level Codesign**. Belo Horizonte / MG: DCC - UFMG, 2001

[Albuq01b] Albuquerque, J. O. ; Coelho JR, C. ; Cecílio JR, D. ; Fernandes, A. O. ; Mateus, G. R. . **Solving a Stochastic Formulation for Hardware/Software Codesign**. In: 9th International Conference on Stochastic Programming, 2001, Berlim. 9th International Conference on Stochastic Programming, 2001.

[Barbosa05] Morgan, J. A. T. ; Randall, J. D. J. ; Barbosa, C. C. G. S. ; Loker, E. . **Origin and Identification of Human Parasite Schistosoma mansoni**. Molecular Ecology, USA, v. 14, p. 3889-3900, 2005.

[Barbosa04] Barbosa, C. C. G. S. ; Araujo K ; Favre, T. C. ; Pieri, O. S. . **Spatial Distribution of Schistosomiasis Foci in Itamaracá Island, Pernambuco, Brasil**. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, v. 99, p. 79-83, 2004.

[Barbosa01] Barbosa, C. C. G. S. ; Abath, F. ; Montenegro, S. ; Domingues, A. L. ; Spinelli, V. ; Guida, U. . **Epidemia de Esquistossomose Aguda na Praias de Porto de Galinhas, Pernambuco, Brasil**. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, p. 725-728, 2001.

[Novo88] Novo, E.M.M.L. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo, Edgard Blücher, 1988.

[Wil97] Williams, H.P. **Model Building in Mathematical Programming**. John Wiley & Sons, 1997.

[Wilson03] de Oliveira, Wilson Rosa ; Souto, Marcílio Carlos Pereira de ; Ludermir, Teresa Bernarda . **Turing's Analysis of Computation and Artificial Neural Networks**. Journal Of Intelligent And Fuzzy Systems, Estados Unidos, p. 63-91, 2003.

[Wolfram 1984] S. Wolfram: **Computation theory of cellular automata**. Communications in Mathematical Physics, 96:15--57, 1984

[Wolfram 2002] S. Wolfram: **A New Kind of Science**. Published by Wolfram Media (2002)