



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO**

**EM**

**DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

**PROGRAMA REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**

**CARACTERIZAÇÃO DA REDE PLUVIOMÉTRICA DO ESTADO DE SERGIPE E  
APLICAÇÃO DAS REDES NEURAIS PARA PREENCHIMENTO DE FALHAS**

**Mestranda:** *Adriana Cavalcante Aguiar Carvalho*

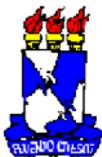
**Orientador:** *Roberto Rodrigues Souza*

**Co-orientador:** *Leonardo Nogueira Matos*

Março - 2007

São Cristóvão – Sergipe

Brasil



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO**

**EM**

**DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

**PROGRAMA REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**

**CARACTERIZAÇÃO DA REDE PLUVIOMÉTRICA DO ESTADO DE SERGIPE E  
APLICAÇÃO DAS REDES NEURAIIS PARA PREENCHIMENTO DE FALHAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe, como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

**Mestranda:** *Adriana Cavalcante Aguiar Carvalho*

**Orientador:** *Roberto Rodrigues Souza*

**Co-orientador:** *Leonardo Nogueira Matos*

Março - 2007

São Cristóvão – Sergipe

Brasil

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

Carvalho, Adriana Cavalcante Aguiar

C331c Caracterização de rede pluviométrica do Estado de Sergipe e aplicação das redes neurais para preenchimento de falhas / Adriana Cavalcante Aguiar Carvalho. - - São Cristóvão, 2007.

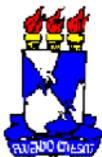
xvii, 117 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Programa Regional de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, 2007.

Orientador: Roberto Rodrigues Souza

1. Meio ambiente – Dados pluviométricos. 2. Meteorologia. 3. Rede pluviométrica – Preenchimento de falhas - Sergipe. 4. Redes neurais – Pluviometria. I. Título.

CDU 551.502.9(813.7):004.738



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO**

**EM**

**DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

**PROGRAMA REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**

**CARACTERIZAÇÃO DA REDE PLUVIOMÉTRICA DO ESTADO DE SERGIPE E  
APLICAÇÃO DAS REDES NEURAIIS PARA PREENCHIMENTO DE FALHAS**

Dissertação de Mestrado defendida por Adriana Cavalcante Aguiar Carvalho e aprovada em 23 de março de 2007 pela banca examinadora constituída pelos doutores:

---

Prof. Dr. Roberto Rodrigues Souza – Orientador  
Universidade Federal de Sergipe - UFS

---

Prof. Dr. Gregório Faccioli Guirado  
Universidade Federal de Sergipe – UFS

---

Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa  
Universidade Rural de Pernambuco

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

---

Prof. Dr. Roberto Rodrigues Souza – Orientador  
Universidade Federal de Sergipe - UFS

---

Prof. Dr. Leonardo Nogueira Matos – Co-orientador  
Universidade Federal de Sergipe – UFS

É concedida ao Núcleo responsável pelo Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe permissão para disponibilizar, reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias.

---

Adriana Cavalcante Aguiar Carvalho - autora  
Centro Federal de Educação Tecnológica de Sergipe – CEFET/SE

---

Prof. Dr. Roberto Rodrigues Souza – Orientador  
Universidade Federal de Sergipe - UFS

---

Prof. Dr. Leonardo Nogueira Matos – Co-orientador  
Universidade Federal de Sergipe – UFS

*Ao meu filho Victor, meu orgulho e minha alegria diária, que nasceu em meio à realização deste projeto e tão rapidamente tornou-se uma das minhas maiores razões de buscar sempre o melhor. Sua chegada iluminou meu caminho e me deu mais força e coragem para trilhá-lo, mesmo diante de todas as dificuldades. Espero que o entusiasmo, a seriedade e o empenho que tive na realização deste trabalho possa lhe servir, algum dia, de orgulho e estímulo para fazer sempre mais e melhor.*

## AGRADECIMENTOS

Embora uma dissertação seja, pela sua finalidade acadêmica, um trabalho individual, há contribuições de naturezas diversas que não podem deixar de ser mencionadas. Por essa razão, gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que aconselharam, motivaram, orientaram, reforçaram, cuidaram, ouviram e colaboraram ao longo desta minha época especial de vida. Para além destas palavras escritas, espero encontrar melhor forma e momento para dizer a todos o quanto estou agradecida e o quanto sinto que a todos devo um pouco deste trabalho.

*A Deus*, pela condição primordial e imprescindível para a realização deste e de qualquer outro trabalho – saúde. Pela força e pela coragem sempre tão necessárias. E pelos “anjos”, por vezes chamados de pai, mãe, marido, professor ou amigo, que fez cruzar meu caminho e que tanto contribuíram e ajudaram ao longo do mestrado.

*Aos meus queridos pais*, pelos valores que me passaram desde pequena, incluída a importância aos estudos, e pelo incentivo e apoio incondicional que sempre me deram em toda a minha vida acadêmica, principalmente ao longo deste curso, quando por várias vezes cuidaram de meu filho para que eu pudesse fazer meus trabalhos ou ir às aulas (isso quando não largavam seus afazeres para me acompanhar à Universidade). Obrigada por tudo. Por serem meus pais e pais do meu filho. Vou lhes ser eternamente grata.

*Ao meu marido Alex Sandro*, quero agradecer primeiramente pelo incentivo para ingresso no mestrado e também por todo o tempo que me dedicou, pelas inúmeras sugestões e ajudas dadas, pelo inestimável apoio familiar e porque durante toda a realização deste trabalho sempre tentou compreender minhas dificuldades e minhas ausências. Sua paciência, seu carinho, seu amor, sua dedicação e sua confiança me ajudaram a ultrapassar os contratempos e foram, indubitavelmente, os elementos propulsores desta dissertação.

*Ao meu orientador – Professor Doutor Roberto Rodrigues Souza*, por ter acreditado em meu projeto desde o início, por ter aceitado a orientação de minha dissertação, pelo compromisso assumido, pelo constante apoio, pelo envolvimento, pelo

suporte, pela permanente disponibilidade, pela paciência, pela compreensão, pela atenção, por partilhar idéias, por fomentar discussões e pelas críticas, sugestões, conselhos e esclarecimentos, que espero ter sabido aproveitar. Obrigada por tudo.

*Ao Professor Dr. Leonardo Nogueira Matos*, meu co-orientador, pela idéia deste trabalho, pela indispensável ajuda em Redes Neurais, pela orientação, pelo tempo a mim dedicado, pela paciência e pelos materiais emprestados.

*Aos professores Dr. Antônio Carlos, Dra. Maria Augusta Mundim Vargas, Dra. Eliane Freire, Msc. Antônio Carlos Barreto, Dra. Rosemeri Melo e Souza, Dr. Carlos Dias, Dr. Manoel Luiz Figueroa, Dr. Celso Morato de Carvalho, Dra. Maria Benedita Lima Pardo e Dr. Antenor Aguiar de Oliveira*, pela compreensão e pelos prazos esticados durante minha licença maternidade, pelos conteúdos ministrados e pelas experiências passadas que tanto contribuíram para formar os conhecimentos necessários não apenas para a elaboração desta dissertação, mas para toda vida.

*Aos professores Dr. Gregório Faccioli e Dr. José Jailton Marques*, pela análise rigorosa e pelas excelentes sugestões por ocasião do Exame de Qualificação. E, ainda ao *professor Gregório*, pela contribuição em vários momentos, por sempre ter se mostrado aberto à discussão de algumas questões relevantes que me obrigaram a refletir mais profundamente sobre alguns aspectos importantes deste trabalho, pelas preciosas dicas e conselhos, pelos materiais concedidos e por aceitar integrar a atual banca.

*Ao professor Dr. Inajá Francisco de Sousa*, que gentilmente aceitou participar e colaborar com este trabalho fazendo parte da banca.

*A Overland Amaral Costa e Ana Paula*, da Superintendência de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe, pelo interesse demonstrado por meu trabalho, pela atenção, pela presteza, pela paciência, pela disponibilidade e, principalmente, pelas informações, documentos e instrumentos disponibilizados que enriqueceram meu conhecimento e ajudaram a construir esta dissertação.

*A Ana Alexandrina Gama Silva*, da EMBRAPA; *aos Srs. Antônio Bernardo Silva Lima e Elder Prudente Barbosa*, do DEHIDRO; *a Manoel Lucas, Francisco e Sérgio Carvalho*, da CODEVASF; e *ao Sr. Adilson Cavalcante*, do DEAGRO, pela atenção e pelas informações prestadas que subsidiaram parte deste trabalho.

*Aos colegas do mestrado*, pelo rápido, porém alegre, carinhoso e gratificante relacionamento que criamos e que espero não se perca. Em especial, a *Luciana* e a *Cida* pela enorme ajuda dada para que eu pudesse cumprir os créditos obrigatórios que coincidiram com o período de minha licença maternidade, repassando-me materiais e auxiliando-me nos meus trabalhos. Obrigada pela amizade revelada. Agradeço também a *Mário Jorge, Carlos Henrique, Agnaldo, Pérciles*, com quem dividi a autoria de alguns trabalhos, pela troca de conhecimentos e experiências e, principalmente, pela convivência. Valeu!!!

*Ao professor e amigo Herivelto Coelho*, que muito me ajudou fazendo a revisão desta dissertação.

*Last, but not the least*, agradeço à *coordenação e às funcionárias do PRODEMA*, Najó, Aline e D. Julieta, por se mostrarem sempre prestativas e gentis e que sempre colaboraram nos bastidores desta operação. Meu profundo agradecimento por não contarem esforços para ajudar em todos os momentos em que foram solicitadas.

Enfim, a todos, mesmo aqueles que porventura possa ter esquecido de mencionar, que contribuíram direta ou indiretamente para que esta dissertação fosse elaborada. E até mesmo àqueles que torceram contra (Afinal, sempre têm os pequenos de espírito, né?!), pois provocaram em mim ainda mais vontade de vencer esse desafio. A todos, o meu sincero muito Obrigada !!!

## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo caracterizar a rede pluviométrica do Estado de Sergipe e avaliar a aplicabilidade das redes neurais artificiais no preenchimento de falhas nas séries históricas de dados pluviométricos. Pretende-se, com este trabalho, socializar os conhecimentos técnicos sobre a rede existente no Estado e apresentar aos usuários dos dados de precipitação uma possível ferramenta voltada ao tratamento desses dados.

Para caracterizar a rede pluviométrica do Estado, foram realizadas entrevistas nas entidades públicas, estaduais e federais, que possuem postos ou estações pluviométricas no Estado, visando identificar o perfil das pessoas responsáveis pelas estações; a estrutura da rede; e o processo de monitoramento e validação dos dados de precipitação. E, para avaliar o comportamento das redes neurais, quando aplicadas ao preenchimento de falhas, foram realizados 03 experimentos, variando a estrutura da rede criada.

Os resultados da pesquisa revelam que Sergipe possui uma rede pluviométrica com boa densidade, mas com má distribuição das estações. Além disso, um número significativo de estações estão atualmente desativadas e dentre as que estão em funcionamento, a grande maioria é do tipo convencional e de modelos que não atendem às recomendações da Organização Mundial de Meteorologia – OMM. O que mostra a urgente necessidade de reestruturação da rede pluviométrica do Estado. Constatou-se também que as falhas no processo de coleta e transmissão dos dados geram inúmeros problemas de inconsistência de dados e lacunas nas séries históricas de dados pluviométricos.

Quanto à aplicabilidade das redes neurais para solucionar este último problema, os experimentos mostraram que as redes neurais conseguem gerar resultados satisfatórios. Porém, com certa dificuldade de obter valores com precisão, pois as séries de dados pluviométricos não apresentam muita regularidade, dificultando o reconhecimento de uma lógica ou de um padrão. No entanto, embora o que se almeje sejam dados consistentes e precisos, esta técnica não deve ser descartada, mas sim aprimorada e utilizada após o pré-tratamento dos dados através de modelos mais simples.

**Palavras-Chaves:** Rede Pluviométrica; Dados Pluviométricos; Preenchimento de Falhas; Redes Neurais

## ABSTRACT

The present work has as its primary objective to characterize the pluviometric system in the state of Sergipe and evaluate the applicability of the artificial neural networks in the process of fulfilling malfunctions in the historical series of pluviometric data. It is intended, with this work, to socialize the technical knowledge about the existing system in the state and present to the users data of precipitation, a possible tool for the treatment of this information.

To characterize the pluviometric system in the state of Sergipe, interviews were carried in public organizations, at the state and federal level, that have pluviometric posts or stations in Sergipe, aiming at identifying the profile of the people responsible for the stations; the structure of the network; and the process of monitoring and validating the precipitation data. To evaluate the functioning of the neural networks when the failures were fulfilled, three experiments were carried out, varying the structure of the created system.

The results of the research reveal that Sergipe has a pluviometric system with good density, but poor distribution of stations. Also, a considerable number of stations today are inactive, and amongst the ones that are active, the great majority is conventional, and models that do not meet the recommendations of the World Meteorology Organization. This points out the urgent need to restructure the pluviometric system in the state. It has also been discovered that failures in the process of collection and transmission of data generate innumerable problems and inconsistency in the data of historical series of pluviometric data.

About the applicability of the neural network to overcome the last problem, the experiments showed that the neural systems are able to generate satisfactory results. Nevertheless, there is some difficulty to obtain the values with precision, because the series of pluviometric data are not obtained with regularity, which implies in problems to recognize a specific pattern. Whereas researchers aim at consistent and precise data, this technique should not be disregarded, but improved and utilized after the pre-treatment of the data through simpler models.

**Keywords:** Pluviometric System; Pluviometric Data; Fulfilling of Malfunctions; Neural Network

**SUMÁRIO**

	<b>Página</b>
<b>NOMENCLATURA</b>	xiv
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	xv
<b>LISTA DE TABELAS</b>	xvii
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b>	2
<b>CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS</b>	6
2.1 – Geral	6
2.2 – Específicos	6
<b>CAPÍTULO 3 – REVISÃO DA LITERATURA</b>	8
3.1 – Desenvolvimento Sustentável (Sustentabilidade)	8
3.2 – Recursos Hídricos	13
3.2.1 – Ciclo Hidrológico	17
3.2.2 – Precipitação	19
3.3 – Inteligência Artificial: Redes Neurais	26
3.3.1 – Arquitetura das Redes Neurais Artificiais	27
3.3.2 – Classificação das Redes Neurais Artificiais	34
3.3.3 – Vantagens das Redes Neurais Artificiais	34
3.3.4 – Aplicações das Redes Neurais Artificiais	35
3.3.5 – Projeto de Redes Neurais Artificiais	36
<b>CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA</b>	41
4.1 – Questões Norteadoras da Pesquisa	41
4.2 – Tipo de Pesquisa	42
4.3 – Coleta de Dados	43
4.3.1 – Caracterização da Rede Pluviométrica	45
4.3.1.1 – Definição das Variáveis	45
4.3.1.2 – Universo e Amostra	46

4.3.2 – Experimentos com as RNA's para o preenchimento de falhas das séries históricas dos postos pluviométricos	46
4.3.2.1 – Software Utilizado	46
4.3.2.2 – Dados Utilizados	48
4.3.2.3 – Experimentos Realizados	50
4.4 – Análise dos Dados	51
<b>CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>53</b>
5.1 – Caracterização da rede pluviométrica do Estado de Sergipe	53
5.1.1 – Perfil dos técnicos que gerenciam os postos pluviométricos	53
5.1.2 – Os postos pluviométricos e o monitoramento das precipitações	55
5.1.3 – Operadores dos postos pluviométricos	65
5.1.4 – Problemas no processo de obtenção dos dados de precipitação	66
5.1.5 – Tratamento, processamento e armazenamento dos dados	69
5.2 – Aplicação das Redes Neurais Artificiais	75
5.2.1 – Experimento 01	75
5.2.2 – Experimento 02	78
5.2.3 – Experimento 03	80
<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES</b>	<b>84</b>
6.1 – Conclusões	84
6.2 – Sugestões	85
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO A – Roteiro da entrevista realizada com os responsáveis pelos postos pluviométricos</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO B – Dados Pluviométricos de 1963 a 1984 dos Postos de Indiaroba, Cristinápolis, Arauá, Umbaúba e Estância</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO C – Código fonte do programa utilizado para discretização dos valores de precipitação, através da criação de categoria</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO D – Características dos postos pluviométricos por Entidade</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO E – Outros Resultados dos Experimentos</b>	<b>118</b>

## NOMENCLATURA

### Siglas:

ANA	Agência Nacional de Águas
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba
DEAGRO	Departamento Estadual de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe
DEHIDRO	Departamento Estadual de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OMM	Organização Mundial de Meteorologia
ONG	Organização Não Governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
PC	Personal Computer – Computador Pessoal
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
RNA	Rede Neural Artificial
SNNS	Stuttgart Neural Network Simulator
SRH	Superintendência de Recursos Hídricos
WMO	World Meteorological Organization

## LISTA DE FIGURAS

Número	Título	Página
3.1	Gestão Quali-quantitativa da Água	15
3.2	Ciclo Hidrológico ou Ciclo das Águas	17
3.3	Características de um Pluviômetro Padronizado “Ville de Paris”	22
3.4	Pluviômetro Convencional Padronizado	22
3.5	Pluviômetro Convencional Não padronizado	22
3.6	Sensor Pluviométrico de uma Estação Automática	23
3.7	Sistema de Básculas Duplas de Pluviômetro Automático	23
3.8	Pluviógrafo	23
3.9	Registrador de um Pluviógrafo	24
3.10	Depósito Coletor de um Pluviógrafo	24
3.11	Visão Esquemática de um Neurônio Artificial – Modelo MCP	28
3.12	Visão Esquemática de uma Rede Neural Artificial Multicamadas	31
3.13	Ciclo de Vida de uma Rede Neural Artificial	37
3.14	Fluxo de Treinamento e Testes de uma Rede Neural Artificial	39
4.1	Interface do Java NNS	47
5.1	Pluviômetro automatizado do posto do DEAGRO em Boquim	64
5.2	Báscula do Pluviômetro da Estação automática 1822 – DEAGRO - Boquim com sujeira	64
5.3	Resultado de Junho de 1985 obtido com o experimento 01	75
5.4	Resultado de Agosto de 1985 obtido com o experimento 01	76
5.5	Resultado de Junho de 1979 obtido com o experimento 01	76
5.6	Resultado de Agosto de 1979 obtido com o experimento 01	76
5.7	Resultado de Junho de 2002 obtido com o experimento 01	77
5.8	Resultado de Agosto de 2002 obtido com o experimento 01	77
5.9	Resultado de Junho de 1985 obtido com o experimento 02	78
5.10	Resultado de Agosto de 1985 obtido com o experimento 02	78
5.11	Resultado de Junho de 1979 obtido com o experimento 02	79
5.12	Resultado de Agosto de 1979 obtido com o experimento 02	79
5.13	Resultado de Junho de 2002 obtido com o experimento 02	79
5.14	Resultado de Agosto de 2002 obtido com o experimento 02	80

5.15	Resultado de Junho de 1985 obtido com o experimento 03	80
5.16	Resultado de Agosto de 1985 obtido com o experimento 03	81
5.17	Resultado de Junho de 1979 obtido com o experimento 03	81
5.18	Resultado de Agosto de 1979 obtido com o experimento 03	81
5.19	Resultado de Junho de 2002 obtido com o experimento 03	82
5.20	Resultado de Agosto de 2002 obtido com o experimento 03	82

**LISTA DE TABELAS**

<b>Número</b>	<b>Título</b>	<b>Página</b>
3.1	Funções de Ativação das RNA's	30
4.1	Categorias de Precipitação	49
5.1	Relação das pessoas entrevistadas e suas funções.	54
5.2	Número de postos pluviométricos por entidade	57
5.3	Densidade mínima da rede pluviométrica por região, recomendada pela OMM	59
5.4	Percentual de entrevistados que observam critérios de instalação dos equipamentos	61
5.5	Percentual de entrevistados atingidos por problemas no monitoramento dos dados pluviométricos	67
D.1	Características dos postos pluviométricos da CODEVASF	107
D.2	Características dos postos pluviométricos da EMBRAPA	107
D.3	Características dos postos pluviométricos da INMET	108
D.4	Características dos postos pluviométricos da SRH/SE	108
D.5	Características dos postos pluviométricos do DEHIDRO	109
D.6	Características dos postos pluviométricos do DEAGRO	110

# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUÇÃO**

## 1.0 – INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento capitalista, adotado pela grande maioria das nações do globo terrestre, intensificado no ápice da Revolução Industrial, sempre foi idealizado desconsiderando o respeito à natureza e à qualidade de vida da humanidade, em favor da produtividade e do lucro. Como consequência dessa realidade, tem-se a atual situação de degradação ambiental.

Essa realidade já vem, desde meados do século XX, permeando o pensamento de um considerável número de pessoas. Alguns grupos e organismos envolvidos na luta contra a degradação ambiental, elaboraram em 1987, o Relatório de Brundtland que, entre outras sugestões, propôs uma nova modalidade de desenvolvimento – o sustentável ou sustentado. Segundo Romeiro (1996), “o novo conceito de Desenvolvimento Sustentável reflete idéias básicas de que o desenvolvimento para ser sustentável, deve ser não apenas economicamente eficiente, mas também ecologicamente prudente e socialmente desejável”.

Uma das questões centrais do debate sobre sustentabilidade ambiental é a escassez dos recursos hídricos, devido à redução paulatina da disponibilidade de água de qualidade. A extrema importância dada à água deve-se ao fato desta ser um recurso essencial à vida e imprescindível ao desenvolvimento social e econômico.

Este recurso estratégico é renovável, mas não inesgotável. A água do Planeta Terra, além de mal distribuída, vem sofrendo sensivelmente com as ações do ser humano, que modificam a sua qualidade e quantidade no espaço e no tempo. Por isso, é necessário evitar a poluição e contaminação deste recurso e adotar medidas que visem a racionalizar seu uso, principalmente na agricultura, que representa o maior consumidor de água no Brasil e no mundo. Qualquer ação que propicie o aumento da eficiência do uso da água na atividade agrícola aumentará expressivamente a disponibilidade desse recurso para os outros usos e mesmo para a ampliação das áreas irrigadas.

O Ciclo Hidrológico, que constitui o mecanismo de reciclagem da água, está sendo afetado pelas intervenções humanas. E, para minimizar os impactos negativos dessas intervenções e otimizar o aproveitamento dos recursos hídricos, é necessário, primeiramente, um amplo conhecimento do comportamento hidrológico, a fim de investigar

as possíveis causas e, a partir daí, elaborar planos e programas para tentar controlar ou prevenir maiores danos.

Através dos tempos, a compreensão dos fenômenos atmosféricos tem ganhado relevada importância, devido aos prejuízos materiais e de vidas que o pouco conhecimento desses fenômenos podem ocasionar.

Os fenômenos hidrológicos mais comuns, como as chuvas e o escoamento dos rios, parecem suficientemente conhecidos, devido à regularidade com que se verificam. Entretanto, isto é um engano, pois basta lembrar os efeitos catastróficos das grandes enchentes e secas para se constatar o inadequado domínio do homem sobre as leis naturais que regem tais fenômenos (PINTO et. al., 1976).

A Hidrologia – ciência que trata do estudo da água e que compreende a coleta de dados básicos sobre este recurso, a análise desses dados com vistas ao entendimento da influência de cada possível fator e a aplicação dos conhecimentos alcançados para a solução de inúmeros problemas – tem avançado muito, mas ainda ocorrem muitos erros na coleta dos dados, gerando informações inconsistentes, que não condizem com a realidade, dificultando a análise e o planejamento adequado dos recursos hídricos.

Em diversas atividades envolvidas no processo de Gestão Quali-quantitativa da água são necessários dados fornecidos pelas redes de monitoramento distribuídas ao longo das diversas bacias hidrográficas, mas evidentemente necessitam de mais acurácia e eficiência na cobertura das informações. A determinação do volume de água necessário às culturas irrigadas, por exemplo, que é obtida através da realização de um balanço hídrico efetivo, constitui uma informação imprescindível ao planejamento e manejo de qualquer sistema de irrigação e demanda de informações acuradas e confiáveis disponíveis em longas séries históricas (SALASSIER, 1995).

Em se tratando de dados pluviométricos, que representam uma das variáveis climáticas mais importantes, não apenas para o adequado manejo da irrigação, mas para diversas outras atividades, como prevenção e controle de eventos hidrológicos críticos como enchentes e cheias, as séries históricas disponíveis no Estado de Sergipe encontram-se com muitos problemas de inconsistência de dados e muitas lacunas sem registro de informação.

Esses problemas necessitam de solução, entretanto, antes de criticar ou tratar essas séries históricas, é necessário ter uma ampla compreensão dos procedimentos de coleta dos dados, dos instrumentos utilizados, dos locais onde estão instalados, e de outros aspectos no intuito de analisar as causas desses problemas. Ou seja, antes de se aplicar qualquer método de análise de consistência ou preenchimento de lacunas ou até mesmo antes de se utilizarem os dados pluviométricos, faz-se necessário conhecer a rede pluviométrica do Estado.

Esta é a razão que motivou este trabalho de pesquisa, cujo objetivo é caracterizar a rede pluviométrica do Estado de Sergipe e investigar a aplicabilidade das Redes Neurais Artificiais (RNA's) no preenchimento de falhas nas séries históricas de dados pluviométricos monitorados no Estado, visando a fornecer, através de informações acerca da Rede Pluviométrica e através de dados mais confiáveis, subsídios para uma melhor gestão dos recursos hídricos da região, contribuindo para sustentabilidade da água e, conseqüentemente, para a sobrevivência do homem no meio natural.

A escolha da tecnologia da Inteligência Artificial, mais especificamente da técnica de Redes Neurais Artificiais, se deve à dinâmica do problema, que pode ser perfeitamente trabalhada utilizando esta técnica. Segundo Neves e Cortez (1997), as Redes Neurais têm a capacidade de extrair dependências implícitas entre os dados, mesmo quando não existe entendimento da natureza dessas dependências. Ou seja, as Redes Neurais Artificiais permitem definir padrões e características em situações onde a lógica e as regras não são conhecidas, o que não é possível fazer em sistemas convencionais ou especialistas. Além disso, a capacidade de generalizar uma resposta mesmo ao receber uma entrada incompleta ou não prevista anteriormente; a possibilidade de adaptação diante de uma situação nova; e a capacidade de previsão de dados com base em informações anteriores são características da Redes Neurais Artificiais necessárias à solução do problema, objeto deste estudo.

## **CAPÍTULO 2**

### **OBJETIVOS**

## **2.0 – OBJETIVOS**

### **2.1 – GERAL**

Caracterizar a rede pluviométrica do Estado de Sergipe e testar uma metodologia para o preenchimento de falhas das séries históricas de dados monitorados por esta rede, através da utilização de Redes Neurais Artificiais.

### **2.2 – ESPECÍFICOS**

- Analisar o processo de monitoramento e processamento dos dados de precipitação usual empregado pelas entidades públicas de Sergipe, que possuem postos pluviométricos;
- Analisar a influência de diferentes arquiteturas de Redes Neurais no preenchimento de falhas das séries históricas de dados pluviométricos;

## **CAPÍTULO 3**

### **REVISÃO DA LITERATURA**

## **3.0 – REVISÃO DA LITERATURA**

### **3.1 – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SUSTENTABILIDADE)**

Originalmente, desenvolvimento referia-se a um processo de descoberta, de mudança seqüencial de um estado para outro, numa ordem determinada, sendo possível identificar e classificar as diferentes fases do desenvolvimento e colocá-las em progressão. Mais tarde, a humanidade percebeu que as descobertas poderiam ser utilizadas para tornar as coisas melhores, acrescentando, dessa forma, uma dimensão de valor ao conceito de desenvolvimento. Segundo Caiden e Caravantes (1988), desenvolver significava, a partir de então, empregar o talento e as energias do homem para melhorar sua condição de vida. Desenvolver passou a significar modernizar, ou seja, o desenvolvimento passou a ser encarado como um conjunto de processos interdependentes, através do qual uma sociedade tradicional seria transformada em moderna. E o moderno era medido de acordo com o grau de industrialização e urbanização dessas sociedades. Portanto, planejar o desenvolvimento era, em grande parte, realizar um planejamento econômico.

Essa ambiciosa busca do crescimento, conjugada com a percepção da natureza como fonte inesgotável de matéria-prima, fez com que o homem se utilizasse dos recursos naturais de uma forma descontrolada e excessiva, produzindo inúmeros prejuízos ao meio ambiente, à medida que os elementos naturais, transformados em recursos, eram explorados para a produção do lucro sem a merecida observância de seus limites. Essa ação produziu também a degradação das sociedades, de sua cultura e também a desorganização de seus espaços, comprometendo a qualidade de vida dos seres humanos.

Todo esse processo de transformação da natureza, visando à obtenção de maiores lucros, foi acelerado no século XVIII, com a Revolução Industrial – a primeira grande força indutora da urbanização. As máquinas ajudavam a aumentar a produção, aumentando a demanda por matérias-primas e energia e, com isso, intensificando a exploração dos recursos naturais. Isto não quer dizer que o crescimento da ciência e da tecnologia é, por si só, responsável pela degradação ambiental, pois a mesma ciência e tecnologia que promove a aceleração da exploração dos recursos naturais, fornece ferramentas capazes de melhorar

em vários aspectos as condições de vida do homem. A questão não está na tecnologia, mas sim no uso que as diferentes sociedades fazem dela.

Este modelo de crescimento econômico gerou e ainda gera enormes desequilíbrios. Se, por um lado, nunca houve tanta evolução em alguns setores – transporte, comunicação e outros, melhorando a qualidade de vida dos homens; por outro lado, paradoxalmente, a miséria e a degradação ambiental aumentam a cada dia.

Apesar desta constatação, muitos anos se passaram e a humanidade ainda segue esse mesmo modelo capitalista de desenvolvimento que é sustentado por uma grande produção de conhecimentos científicos, técnicos e tecnológicos, que o impulsionam no processo de produção e circulação de mercadorias em uma velocidade incrível. Esta velocidade é vista como imprescindível para a competitividade mundial. No entanto, este ritmo acelerado de exploração dos recursos ambientais deve ser visto como uma violência, pois não pode ser acompanhado pela capacidade de reprodução dos ecossistemas, nem mesmo pela sociedade. “É impossível à natureza acompanhar o ritmo desse modelo de desenvolvimento sem se aproximar da possibilidade de uma catástrofe ambiental, que em certo sentido, já se manifesta em diversos locais e mesmo em escala global” (FARIA apud NEIMAN, 2002).

A partir da segunda metade do século XIX começou-se a perceber em nível planetário a degradação ambiental e suas catastróficas conseqüências e hoje há uma preocupação cada vez maior com relação aos danos que esse processo de desenvolvimento vem causando ao meio ambiente. Esta retomada de consciência fez com que, há algum tempo, começassem a surgir grupos e organismos envolvidos na luta contra a degradação ambiental, originando os primeiros estudos e as primeiras reações no sentido de se conseguirem fórmulas e métodos de diminuição dos danos ao ambiente. Resultado disto foram os estudos do Clube de Roma, liderado por *Dennis L. Meadows* que culminou com a publicação do livro *Limites de Crescimento (The limits to growth)*, que mostrou um diagnóstico dos recursos terrestres concluindo que a degradação ambiental é resultado principalmente do descontrolado crescimento populacional e suas conseqüentes exigências sobre os recursos da terra, e que, se não houver uma estabilidade populacional, econômica e ecológica os recursos naturais que são limitados serão extintos e com eles a população humana. Estes estudos lançaram subsídios para a idéia de se desenvolver preservando a natureza (MEADOWS et. al., 1972).

Em consequência disso e de outras ações neste sentido, a ONU criou em 1983 a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento que foi presidida por *Gro Harlem Brundtland*, primeira ministra da Noruega, e tinha os seguintes objetivos: reexaminar as questões críticas relativas ao meio ambiente, reformulando propostas realísticas para abordá-las; propor novas formas de cooperação internacional nesse campo, de modo a orientar as políticas e ações no sentido das mudanças necessárias; e dar a indivíduos, organizações voluntárias, empresas, institutos e governos uma compreensão maior desses problemas, incentivando-os a uma atuação mais firme (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991).

Os trabalhos desta comissão foram concluídos em 1987, com a apresentação do Relatório *Brundtland*, no qual a comissão propôs que o desenvolvimento econômico passasse a ser integrado à questão ambiental, surgindo assim a idéia de desenvolvimento sustentável ou, simplesmente sustentabilidade, que recebeu a seguinte definição: Desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades.

Assim, Desenvolvimento Sustentável significa desenvolver em harmonia com as limitações ecológicas do planeta, ou seja, sem destruir o meio ambiente, para que as gerações futuras tenham a chance de existir e viver bem, de acordo com as suas necessidades. A idéia é desenvolver, mantendo-se equilibrados aspectos culturais, sociais, políticos, econômicos e ambientais, de forma a reconciliar a busca do bem-estar presente com a segurança de condições de vida satisfatórias no futuro (BURZTYN, 1993).

Segundo Romeiro (1996), “o novo conceito de Desenvolvimento Sustentável reflete idéias básicas de que o desenvolvimento para ser sustentável deve ser, não apenas economicamente eficiente, mas também, ecologicamente prudente e socialmente desejável”.

Em 1992, realizou-se na cidade do Rio de Janeiro a Conferência sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como Rio-92, onde esta nova forma de desenvolvimento foi amplamente aceita e difundida, passando a ser o objetivo da Agenda 21, editada na oportunidade, e um modelo perseguido pela grande maioria dos países do globo.

Após a Rio-92, ocorreu uma verdadeira globalização das questões ambientais gerando uma preocupação crescente com a degradação provocada pelo desenvolvimento industrial. A Agenda 21, com seus 40 capítulos e 800 páginas, lançou o conceito de sustentabilidade e as diretrizes da nova forma de desenvolvimento, o sustentável ou sustentado.

As Organizações não-governamentais (ONGs) constituem um dos principais atores deste novo paradigma de desenvolvimento, vistas como importantíssimas colaboradoras ao lado do Estado. A própria ONU é uma organização não-governamental que, nas últimas décadas, vem atuando cada vez mais ativa e eficientemente, muitas vezes com influência e interferência direta nas diretrizes políticas de diversos países.

Dos Estados, o desenvolvimento sustentável vem exigindo uma nova definição de sua atuação. Segundo os novos princípios, o Estado deve rever suas funções como agentes públicos do desenvolvimento; racionalizar suas atividades; enxugar sua máquina administrativa; banir o clientelismo, o autoritarismo, assim como o corporativismo; direcionar sua política sócio-econômico-ambiental, observando as tendências mundiais nas respectivas áreas; celebrar efetivos acordos bilaterais e multilaterais com outros Estados; celebrar parcerias com a sociedade civil representada pelas ONGs, abrindo-lhes novos campos de atuação; e passar a ser gerenciador do desenvolvimento ditando as regras e fiscalizando as atividades. Enfim, para o Estado, a mobilidade das decisões em vistas dos crescentes e novos desafios, deve ser a tônica da administração nos novos tempos.

A sociedade civil também deve participar como ator fundamental neste novo caminho apresentando reivindicações e fiscalizando as obras públicas. Assim como o empresariado também deve colaborar com ações sociais e observar as tendências mundiais de produção limpa para evitar prejuízos ambientais.

Somente com a participação efetiva destes importantes atores em cooperação mútua e com os mesmos objetivos é que se pode alcançar um desenvolvimento sustentável e, assim, cumprir o anseio planetário de preservar a qualidade de vida para as gerações presentes e futuras, como dita nossa Constituição Federal, em seu Artigo 225 – “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e

essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL. CONSTITUIÇÃO, 1988).

O desenvolvimento sustentável deve constituir-se em um objetivo de toda a humanidade para que possa ser alcançado. Os povos devem se unir por esta causa e tomar concomitantemente providências urgentes no sentido de desenvolver em todos os cidadãos do mundo uma consciência ecológica, alicerçada na ética ambiental e voltada para a efetiva e concreta criação de uma sociedade moderna, que busca combater os problemas ambientais com soluções imaginativas e eficientes. Para que se consiga o desenvolvimento sustentável é necessário conjugar esforços de toda a sociedade, sem a exclusão de qualquer um de seus segmentos. Mas, infelizmente, isto não tem acontecido. Alguns programas, projetos e trabalhos no sentido de se atingir o Desenvolvimento Sustentável têm sido desenvolvidos. No entanto, a grande maioria se trata de empreendimentos de iniciativa privada que acabam sendo isoladas. Muitos países, entre eles o Brasil, não cumpriram integralmente os compromissos assumidos na Comissão Mundial, principalmente no que tange a Agenda 21.

Muitos são os entraves que dificultam a efetivação ou a busca da sustentabilidade. Entraves culturais, político-econômicos, sociais, éticos, ideológicos, psicológicos, filosófico-metafísicos e científicos. Deste último, pode-se citar a falta de um conhecimento mais aprofundado sobre as relações homem-natureza; a separação dos problemas naturais e sociais dos problemas ambientais; a dificuldade na obtenção e troca de informações sobre trabalhos científicos dentro e entre países; a falta de um maior diálogo entre a comunidade científica e a sociedade civil; a dificuldade na coleta, processamento e divulgação dos dados sobre a natureza; e a dificuldade em tomar decisões diante de informações científicas insuficientes, inconsistentes e/ou inexistentes (CAMARGO, 2003).

Apesar de todos esses entraves, a necessidade de se implementar um Desenvolvimento Sustentável é urgente e real e, embora seja uma atividade complexa e polêmica, que ainda traz implícitas muitas questões para as quais não se tem respostas, uma coisa é clara: requer uma grande mudança nas relações dos seres humanos entre si e com a natureza. Exige um aprimoramento do caráter humano, pois o Desenvolvimento Sustentável precisa ser gerido por uma nova consciência individual e coletiva.

### 3.2 – RECURSOS HÍDRICOS

Dentre os recursos ambientais que são explorados além de sua capacidade, contribuindo para a degradação dos ecossistemas, estão os recursos hídricos – a água.

A água constitui um recurso natural extremamente importante. Além de ser fundamental aos outros recursos (vegetais, animais e minerais), tem responsabilidade direta pela manutenção da vida, saúde e bem-estar do homem. Ou seja, a água é um recurso essencial à vida. Todos os organismos vivos, incluindo o homem, necessitam da água para sua sobrevivência e/ou para o seu desenvolvimento. Mas, embora dependam deste recurso, as sociedades humanas poluem e degradam tanto as águas superficiais como as subterrâneas. O intenso processo de urbanização, o despejo de resíduos líquidos e sólidos em rios, lagos e represas e a destruição de áreas alagadas são algumas das causas da eminente e assustadora ameaça de escassez desse imprescindível recurso.

Uma outra razão da escassez do recurso água provem dos conflitos gerados pela diversificação de seus usos, que tendem a se tornar cada vez mais competitivos entre si. Os usos da água podem ser divididos em três categorias principais: agrícola, industrial e doméstico. Desses, o setor agrícola, é na maioria dos países em desenvolvimento, o maior usuário. Estima-se, nesses países, que a irrigação utiliza 70% de toda a água retirada de rios, lagos e mananciais subterrâneos; entretanto, o crescimento da demanda de água pelos outros setores, ocasionado pelo crescimento da produção industrial, da urbanização e do aumento da renda das populações, passa a competir com a agricultura irrigada. O setor industrial é responsável por 23% da retirada de água e o setor urbano por 7% (SANTOS, 1998; CARDOSO et al., 1998).

Segundo Amaral (2000), as projeções apontam escassez de água para 20% da população mundial, dentro de 25 anos. Por isso, hoje há uma preocupação recorrente e justificada de que a água, aparentemente tão abundante, se torne paradoxalmente cada vez mais escassa para o uso humano.

Em se tratando de quantidade, parece difícil acreditar que em um planeta onde 70% da superfície é coberta por água se possa falar em escassez. Acontece que de todo esse enorme reservatório, 97% está nos mares, sendo imprópria para o uso agrícola e industrial e

para o consumo humano, pouco mais de 2% está nas calotas polares e apenas uma fração menor que 1% é de água doce – adequada ao consumo humano (LIMA, 2005); e os rios, que representam apenas 0,0001% da disponibilidade global, são as fontes de suprimento mais usadas (INFORME AGROPECUÁRIO, 1992).

É importante lembrar que essa pequena proporção de água doce é naturalmente muito mal distribuída. Alguns países, como Canadá e Finlândia, têm muito mais água do que precisam, enquanto o Oriente Médio, por exemplo, praticamente nada tem. E o Brasil, dono da maior reserva hídrica do mundo com 13,7% da disponibilidade de água doce do Planeta, também expressa internamente essa irregular distribuição, dois terços de suas águas estão concentrados na região com menor densidade populacional – a Amazônia (LIMA, 2005).

Vale ressaltar ainda que a água é um recurso auto-renovável, reciclável e devido a esta característica a quantidade de água na Terra é praticamente invariável há 500 milhões de anos. O que muda é a sua distribuição, pois a água não permanece imóvel.

As eventuais “perdas” de água se devem muito mais à crescente poluição e contaminação das águas, proveniente de causas naturais (erupções vulcânicas, chuvas, etc.) ou de atividades humanas que são potencialmente mais graves à medida que produzem poluentes químicos, físicos e biológicos (erosão, pesticidas, fertilizantes, esgotos domésticos, substâncias orgânicas industriais e agrícolas, detergentes sintéticos, entre outros), do que à redução do volume de água na Terra. Ou seja, quando se fala em escassez de água, é preciso entender que ela se refere, primeiramente, à insuficiência natural do recurso em determinadas regiões e, em seguida, à diminuição de sua quantidade em termos de qualidade.

A ameaça da falta de água de qualidade é o que realmente assusta, pois muitas doenças que afetam a espécie humana têm veiculação hídrica. Segundo Lima (2005), 60% das doenças conhecidas estão relacionadas de alguma forma com a escassez de água de boa qualidade. Além disso, os recursos hídricos são imprescindíveis na geração de riqueza, sendo, portanto, um bem natural, ecológico, social e econômico, daí a importância de compatibilizar o gerenciamento desse recurso com o desenvolvimento e proteção do Meio Ambiente (AMARAL, 2000).

O Ministério do Meio Ambiente, através da Secretaria de Recursos Hídricos, propõe a implantação do Plano Nacional de Recursos Hídricos, cujo objetivo é estabelecer um pacto nacional, buscando o atendimento aos múltiplos interesses setoriais no uso da água e os projetos de viabilidade econômica, justiça social, sustentabilidade ambiental e de controle de riscos de eventos hidrológicos críticos, como uma importante ferramenta para a gestão quali-quantitativa da água.



Figura 3.1 – Gestão Quali-Quantitativa da Água

Fonte: COIMBRA, 2006

Segundo Tundisi (2005), o desenvolvimento dos recursos hídricos não pode se desassociar da conservação ambiental, já que na essência envolve a sustentabilidade do homem no meio natural.

Esta tomada de consciência da vulnerabilidade dos recursos hídricos desencadeou um amplo processo de discussão, envolvendo diferentes níveis de governo, representantes de ONG's e dos usuários, pleiteando a elaboração de uma nova política para o setor, pois é

clara a necessidade de gerenciar bem os recursos hídricos disponíveis, objetivando a utilização e administração racional, democrática e participativa dos mesmos e a otimização de seus potenciais hidráulicos.

Segundo alguns especialistas, gestão das águas é uma atividade analítica e criativa voltada à formulação de princípios e diretrizes (Política das Águas), ao preparo de documentos orientadores e normativos, à estruturação de sistemas gerenciais e à tomada de decisões (Modelo de Gerenciamento) que tem por objetivo final promover o inventário, uso, controle e proteção dos Recursos Hídricos (Planejamento).

Algumas leis e decretos, que visam ao uso adequado e à conservação dos recursos hídricos, já vêm sendo criados, entre eles os Artigos 20 e 26 da Constituição Federal de 1988, que citam a água como bem da União e do Estado; a Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos; o Decreto nº 2.612, de 03 de junho de 1998 que com o Decreto nº 4.613, de 11 de março de 2003, regulamentam o CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos; a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que cria a ANA – Agência Nacional de Águas; e o Decreto nº 4.755, de 20 de junho de 2003, que define a coordenação do PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos para a Secretaria de Recursos Hídricos do MMA – Ministério do Meio Ambiente. No entanto, faltam mecanismos de fiscalização destas leis e ainda são poucos os planos e programas que permitem colocar em prática as ações de recuperação e preservação da água.

No Estado de Sergipe, os recursos hídricos correspondem a seis bacias hidrográficas, que estão sendo afetadas pelos problemas mencionados. E para saná-los ou, pelo menos, minimizá-los, vários órgãos/entidades têm criado projetos de conservação da água. A SRH/SE – Superintendência de Recursos Hídricos de Sergipe está desenvolvendo um Programa Estadual de Apoio à Gestão Participativa dos Recursos Hídricos, que será iniciado como uma experiência piloto na Bacia do Rio Sergipe e cuja finalidade principal é sensibilizar e mobilizar a sociedade civil, setores usuários da água e poder público para a gestão participativa, objetivando assegurar o uso múltiplo e a preservação desses recursos.

Para que este e outros programas com objetivos afins sejam realizados, faz-se necessário, entre outros procedimentos, a coleta e sistematização de dados sobre a realidade

hídrica e ambiental deste recurso com vistas à elaboração de diagnósticos que permitam a tomada de decisões para solução ou minimização dos problemas encontrados, ou seja, faz-se necessário manter processos contínuos de Monitoramento Ambiental, que é uma atividade usada para acompanhar sistematicamente as conseqüências dos impactos positivos e negativos produzidos sobre o meio ambiente, gerando informações que deverão subsidiar a implementação e implantação de diversos planos e programas, contribuindo para uma adequada gestão dos recursos ambientais.

### 3.2.1 - Ciclo Hidrológico ou Ciclo das Águas

Toda a água do planeta está em contínuo movimento cíclico entre as reservas sólida, líquida e gasosa e este movimento é representado pelo Ciclo Hidrológico ou Ciclo das Águas. Dessa forma, o ciclo hidrológico pode ser entendido como uma seqüência fechada de fenômenos pelos quais a água passa do globo terrestre para a atmosfera, na fase de vapor, e regressa nas fases líquida e sólida, conforme mostra a ilustração a seguir:

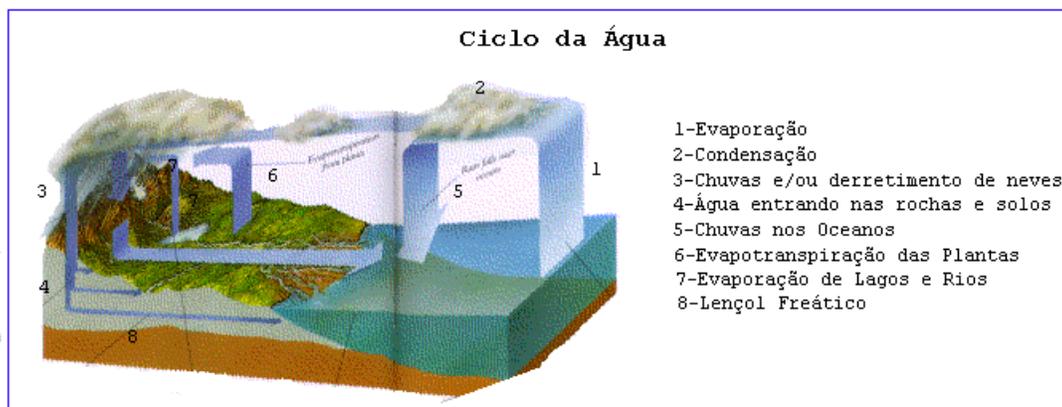


Figura 3.2 – Ciclo Hidrológico ou Ciclo das Águas  
Fonte: TOMINAGA, 2005

Os componentes do ciclo hidrológico são:

- Precipitação: Água, na forma líquida ou sólida, adicionada à superfície da Terra a partir da atmosfera;
- Evaporação: Processo de transformação da água líquida para a fase gasosa (vapor d'água);

- c) Transpiração: Processo de perda de vapor d'água pelas plantas, o qual entra na atmosfera;
- d) Infiltração: Processo pelo qual a água é absorvida pelo solo;
- e) Percolação: Processo pelo qual a água entra no solo e nas formações rochosas até o lençol freático;
- f) Drenagem (Escoamento): Movimento de deslocamento da água nas superfícies, durante a precipitação.

As interferências das atividades humanas na natureza têm produzido efeitos adversos também no Ciclo Hidrológico. O crescente processo de urbanização e o desmatamento para pastagens, por exemplo, fazem com que as superfícies se tornem impermeáveis, aumentando o escoamento das águas em direção aos rios que, por sua vez, aumentam seu volume e acabam provocando grandes enchentes. Por outro lado, a construção de reservatórios para aumentar as reservas de água impede o escoamento, e acaba contribuindo para a diminuição do volume de água dos rios. Além destas, várias outras ações do homem como o uso excessivo de águas subterrâneas, a importação de água e transposição de águas entre bacias hidrográficas, têm provocado grandes alterações no ciclo hidrológico.

Por isso, para promover o planejamento estratégico e uma adequada gestão da água, é imprescindível que a atividade de Monitoramento Ambiental seja aplicada aos componentes do ciclo hidrológico, a fim de verificar de que maneira essas interferências estão afetando este ciclo e, principalmente, quais as conseqüências disso. Pode-se, a partir dessas informações, criar mecanismos que evitem problemas para a humanidade, tais como as enchentes e as secas; e, ainda, garantir a sustentabilidade do recurso que é fonte de vida.

### 3.2.2 - Precipitação

“A precipitação é entendida em hidrologia como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre”, esteja esta água em qualquer forma ou estado: neblina, chuva, neve, saraiva, granizo, orvalho ou geada (TUCCI, 2002).

Em decorrência de sua capacidade para produzir escoamento, contribuindo para a vazão dos rios e por ser mais facilmente medida, a chuva é considerada o tipo de precipitação mais importante em hidrologia.

Os dados de chuva (pluviométricos) constituem um fator importantíssimo para o planejamento estratégico e gestão dos recursos hídricos. A disponibilidade de precipitação numa bacia durante o ano é o fator determinante para quantificar, entre outros, o abastecimento de água doméstico e industrial. Além disso, a determinação da intensidade da precipitação é imprescindível para atividades como controle de navegação, controle de cheias (inundação), controle da erosão do solo, entre outras.

Segundo Silva et. al. (2007), “a precipitação pluvial é um dos elementos meteorológicos de grande importância, pois está diretamente relacionada aos mais diversos setores da sociedade, de forma que o regime pluviométrico afeta a economia, o meio ambiente e a sociedade, como um todo”.

Ainda segundo o autor, na agricultura, o conhecimento da precipitação pluvial e sua variação ao longo de um ciclo de cultivo é bastante significativo para a obtenção de rendimentos satisfatórios. Assim como é imprescindível para o dimensionamento de reservatórios de água, na elaboração de projetos de proteção e conservação do solo e em atividades de lazer e/ou esportivas. Por estas e outras razões, é muito importante conhecer a probabilidade de ocorrência de chuva.

Para alguns autores, a ocorrência da precipitação é um processo aleatório que não permite uma previsão determinística com grande antecedência. E o tratamento dos dados de precipitação para a grande maioria dos problemas hidrológicos é estatístico. No entanto, já existem inúmeros estudos que objetivam estimar a quantidade de chuva em determinadas

regiões, através da utilização de algumas funções ou modelos matemáticos como as Funções Gama, Exponencial, Normal e Weibull, e que mostram que tais funções apresentam bons resultados no ajuste dos dados de precipitação, como mostra o trabalho de Catalunha (2002).

As variáveis que caracterizam a chuva são:

- a) Altura Pluviométrica (P ou r) – é a espessura média da lâmina de água precipitada numa determinada região, considerando que não houvesse infiltração, evaporação ou escoamento para fora dos limites dessa região. Ou seja, é a quantidade de água caída numa superfície plana e impermeável. A unidade de medida normalmente utilizada é o milímetro (mm) de chuva, que é definido como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de 1 litro por metro quadrado de superfície;
- b) Duração (t) – é o período de tempo durante o qual a chuva cai. As unidades normalmente utilizadas são o minuto ou a hora;
- c) Intensidade (i) – é a precipitação por unidade de tempo, obtida através da relação  $i = P/t$  e expressa geralmente em mm/min ou mm/h. A intensidade de uma precipitação apresenta variação temporal, no entanto, para análise dos processos hidrológicos, geralmente são definidos intervalos de tempo nos quais é considerada constante;
- d) Freqüência de Probabilidade e Tempo de Recorrência (Tr) – na análise de alturas pluviométricas máximas, o Tr é interpretado como o número médio de anos que se deve esperar para que a precipitação analisada seja igual ou superior à máxima. E o seu inverso é a probabilidade de um fenômeno igual ou superior ao analisado acontecer em um determinado ano (TUCCI, 2002).

Existem basicamente duas maneiras de medir os dados pluviométricos: espacialmente, com a utilização de radares e/ou pontualmente, através da utilização de instrumentos (aparelhos) chamados pluviômetros ou pluviógrafos, que são instalados em pontos prévia e estrategicamente escolhidos.

O pluviômetro (do latim pluviu = chuva, metru = medir), também conhecido como hietômetro ou udômetro, destina-se a medir a quantidade de precipitação. Existem pluviômetros convencionais e sensores de precipitação ligados a estações automáticas. O pluviômetro convencional é um aparelho totalizador que marca, em provetas graduadas, a altura de chuva total acumulada num dado período de tempo. Ele é mais utilizado para totalizar a precipitação diária e normalmente é operado por uma pessoa que mora nas proximidades do aparelho. O horário para a observação do pluviômetro deve ser fixado pelo órgão responsável pelo mesmo. Em geral, são observados diariamente nas primeiras horas da manhã. Também é determinado que o acúmulo das precipitações em 24 horas, observadas antes do meio-dia, seja atribuído ao dia anterior. As leituras feitas pelo operador do pluviômetro são anotadas em cadernetas (planilhas) próprias que são enviadas, periodicamente, ao órgão responsável pelo instrumento. A ausência de precipitação também é um valor observado que não pode ser confundido com uma falha (lacuna) na observação.

O sensor de precipitação ligado à estações automáticas ou Plataformas de Coletas de Dados (PCD's) é o pluviômetro de balança ou "*Rain Gauge Tipping Bucket*", em inglês. Este instrumento consiste de um funil que recolhe a chuva e encaminha para um sistema de básculas, que é constituído de uma haste apoiada em seu centro com conchas nas extremidades. Quando a quantidade de chuva acumulada em uma balança ou concha, atinge 0,2 mm (resolução do equipamento), o peso desta quantidade de líquido aciona o mecanismo, fechando um relé magnético, descartando o líquido e preparando a outra balança para receber nova quantidade de chuva (quando o sensor possui duas básculas). O fechamento do relé magnético produz um pulso que é encaminhado a uma entrada contadora de pulsos da PCD que é programada para reportar a precipitação acumulada na unidade apropriada. A capacidade deste instrumento é ilimitada, pois o líquido é descartado imediatamente após a medição (MAGINA, 2006).

Existem vários tipos de pluviômetros convencionais e de sensores de precipitação. As inúmeras diferenças nas características de cada um dos tipos produzem dados com precisões diferentes. Por isso, a Organização Mundial de Meteorologia – OMM (World Meteorological Organization – WMO), definiu algumas características para esses dois tipos de pluviômetros, que favorecem a obtenção de resultados mais confiáveis, como padrão universal.

Um dos instrumentos padronizados mais utilizados no Brasil é o pluviômetro convencional de padrão francês, conhecido como “Ville de Paris”. No entanto, existem outros modelos que atendem às especificações estabelecidas pela OMM.

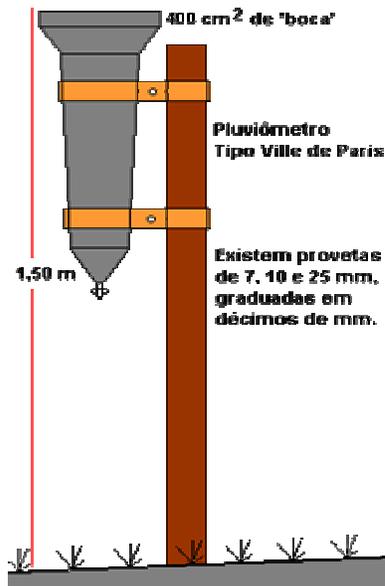


Figura 3.3 – Características de um pluviômetro padronizado “Ville de Paris”  
 Fonte: NETTO, 2006.



Figura 3.4 – Pluviômetro Convencional Padronizado  
 Fonte: CARVALHO, 2006



Figura 3.5 – Pluviômetro Convencional Não Padronizado  
 Fonte: CARVALHO, 2006



Figura 3.6 – Sensor Pluviométrico de uma Estação Automática  
Fonte: CARVALHO, 2006



Figura 3.7 – Sistema de básculas duplas de um pluviômetro automático  
Fonte: AG SOLVE, 2006

Os pluviógrafos, por sua vez, são equipamentos que fornecem não somente o total de precipitação acumulado no decorrer do tempo, mas também a intensidade e duração da mesma. Existe uma grande variedade desse aparelho, usando princípios (mecanismos) diferentes para medir, gravar (registrar) e transmitir os dados. Além disso, eles apresentam inúmeras vantagens sobre os medidores sem registro e são imprescindíveis para o estudo das chuvas de curta duração.



Figura 3.8 – Pluviógrafo  
Fonte: CARVALHO, 2006

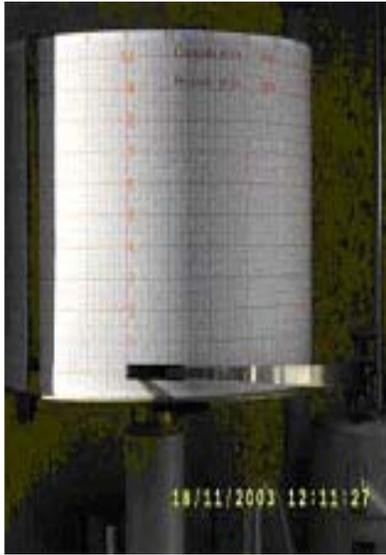


Figura 3.9 – Registrador de um Pluviógrafo  
Fonte: CARVALHO, 2006



Figura 3.10 – Depósito Coletor de um Pluviógrafo  
Fonte: CARVALHO, 2006

A instalação de postos (instrumentos) pluviométricos ou estações pluviométricas (sensores pluviométricos ligados à estações automáticas), assim como a escolha do modelo do aparelho, é crítica para a obtenção de dados precisos. De modo geral, o local de instalação deverá representar a área de interesse e apresentar-se livre de agentes interferentes nas proximidades.

No ato da instalação desses equipamentos, recomenda-se observar os seguintes critérios: altura de interceptação da chuva, que deve ser de 1,5 m acima do solo (embora algumas agências de monitoramento admitam a altura de 1,0 m); distância entre o aparelho e eventuais obstáculos, que deve ser de duas a quatro vezes maior que a altura do obstáculo; e o local de instalação que deve ser um terreno plano, recoberto por grama ou vegetação de baixo porte e dentro de um cercado de 100 m<sup>2</sup>.

“É essencial lembrar que a aquisição de dados de chuva de boa qualidade é bastante difícil, embora a medição e os aparelhos sejam simples. Portanto é muito raro encontrar uma série de dados pluviométricos ou pluviográficos confiável. Antes de criticar ou de analisar a consistência dos dados, é necessário ter um bom conhecimento dos métodos de aquisição, dos aparelhos usados, dos lugares de instalação e, ainda, da personalidade dos observadores...” (TUCCI, 2002).

Independente do equipamento utilizado, o objetivo de qualquer posto de medição de dados pluviométricos é o mesmo – obter uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos. Acontece que durante esse processo de medição e coleta dos dados podem ocorrer alguns problemas, tais como a existência de períodos sem informações ou com falhas nas observações. As causas mais comuns de erros grosseiros nas observações são:

- a) preenchimento errado do valor na caderneta;
- b) soma errada do número de provetas, quando a precipitação é alta;
- c) valor estimado pelo observador, quando o mesmo não se encontra no local em determinado dia;
- d) crescimento de vegetação ou outra obstrução próxima ao equipamento medidor;
- e) danificação do equipamento;
- f) problemas mecânicos no registrador do aparelho;
- g) problemas na transmissão das informações; entre outros.

Por esta razão os dados coletados devem ser submetidos a uma análise antes de serem utilizados. Ou seja, antes do processamento dos dados observados nos postos pluviométricos, há necessidade de se executarem certas análises que visam verificar os valores a serem utilizados.

Primeiramente, procuram-se detectar os erros grosseiros que possam ter acontecido, como observações marcadas em dias que não existem, como por exemplo dia 30 de fevereiro, ou quantidades absurdas que, sabidamente não podem ter ocorrido. Em seguida, deve-se verificar a existência de lacunas nas séries observadas e preenchê-las utilizando um método de preenchimento de falhas. Dentre os métodos existentes para essa finalidade, podemos citar o método de ponderação regional, o método de regressão linear e o método de ponderação regional com base em regressões lineares. Por fim, com a série toda preenchida, deve-se analisar a consistência dos dados. E para esta finalidade, o método mais utilizado é o da Dupla Massa (TUCCI, 2002).

### 3.3 - INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Segundo Tafner et. al. (1995), “a Inteligência Artificial constitui-se em um conjunto de técnicas de programação para resolver determinados tipos de problemas em informática”. Ela procura imitar, através de programas, as formas de resolução de problemas do mesmo modo que o homem o faz. Em outras palavras, os sistemas inteligentes usam uma arquitetura que simula determinadas capacidades de processamento do cérebro (TURBAN et. al. , 2003).

As novas técnicas de Inteligência Artificial têm sido desenvolvidas através de um aspecto curioso – o retorno do homem à natureza. Profissionais dessa área têm se voltado ao estudo dos processos naturais e desenvolvido técnicas de Inteligência Artificial que refletem comportamentos da natureza. “Observando e procurando reproduzir a natureza, a Inteligência Artificial alcança êxito, paradoxalmente, sendo natural” (TAFNER et. al., 1995). Afinal de contas, tudo na natureza é funcional, e é exatamente nesse funcionalismo que se encontra a inteligência do sistema.

Um exemplo dessas técnicas são as Redes Neurais Artificiais (RNA's), que se baseiam exatamente na neurotransmissão ocorrida nos animais para lançar suas bases de fundamentação.

As Redes Neurais Artificiais são modelos matemáticos que se assemelham às estruturas neurais biológicas e que têm capacidade computacional adquirida por meio de aprendizado e generalização (BRAGA et. al, 2000).

Durante algum tempo a generalização foi considerada como resultante do processo de aprendizado. Mas, no conceito atual, aprendizado e generalização andam juntos. O aprendizado está associado à capacidade das Redes Neurais Artificiais adaptarem seus parâmetros como consequência da sua interação com o meio externo, ou seja, o aprendizado é interativo e através dele a rede deve melhorar o seu desempenho gradativamente. Já a generalização está associada à capacidade da rede de dar respostas coerentes para dados não apresentados à mesma durante o treinamento (BRAGA et al apud REZENDE, 2003).

As Redes Neurais Artificiais não são técnicas tão novas, elas são consideradas a mais antiga das técnicas atuais de Inteligência Artificial. Foram desenvolvidas na década de 40, no século XX, pelo psiquiatra e neurofisiologista *McCulloch* e pelo matemático *Walter Pitts* da Universidade de Illinois, os quais dentro do espírito cibernético, fizeram uma analogia entre as células nervosas vivas e o processamento eletrônico, enfatizando o aprendizado dos sistemas como forma de captação de conhecimento.

Em 1956 foi realizada a 1ª Conferência Internacional de Inteligência Artificial onde foi apresentado um modelo de Rede Neural Artificial, do pesquisador *Nathaniel Rochester*, da IBM, que consistia na simulação de centenas de neurônios interconectados, através da construção de um sistema para verificar como a rede responderia aos estímulos ambientais.

Nas décadas de 60 e 80 do século XX, as pesquisas nessa área sofreram uma retração, em função de algumas críticas feitas pelos matemáticos *Marvin Minsky* e *Seymour Papert*, que alegavam que as Redes Neurais Artificiais além de utilizar processos de aproximação empíricos, não realizavam algumas operações booleanas. Até que, em 1982, o físico e biólogo do Instituto de Tecnologia da Califórnia, *John Hopfield* deu um novo impulso às Redes Neurais, contestando, com sucesso, as teses dos matemáticos, restaurando o interesse e fomentando novos programas de pesquisa (TAFNER et. al., 1995)

### **3.3.1 - Arquitetura das Redes Neurais Artificiais**

Uma rede neural é um processador paralelamente distribuído, constituído de unidades de processamento simples, os neurônios, que têm a propensão natural de armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso (HAYKIN, 2001).

Apesar dessa simples definição, a estrutura ou arquitetura de uma Rede Neural Artificial não se resume a um conjunto de neurônios. Para que eles possam atingir seus objetivos, são necessários alguns outros elementos na rede. Segundo Palma & Nicoletti (2005), uma rede neural é uma rede com muitos processadores simples, conectados por meio de canais de comunicação (conexões), aos quais, usualmente, estão associados valores

(pesos) numéricos. Assim, segundo Palma & Nicoletti (2005), uma rede neural pode ser caracterizada pelos seguintes aspectos:

- a) por seus processadores básicos, chamados neurônios artificiais;
- b) pela função de ativação, que representa o estado do neurônio;
- c) pelo padrão de conexão existente entre os neurônios;
- d) por seu algoritmo de treinamento, também chamado algoritmo de aprendizado.

A figura 3.11 mostra um modelo de neurônio artificial. Os neurônios artificiais são elementos processadores, relativamente simples, onde, de forma paralela, são realizados o armazenamento e o processamento das informações.

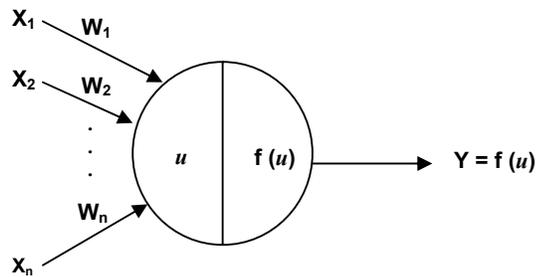


Figura 3.11 - Visão Esquemática de um neurônio artificial  
Modelo de McCulloch e Pitts ou Modelo MCP  
Fonte: BRAGA, 2000

Um neurônio artificial pode possuir várias entradas, que podem ser entendidas como estímulos para o neurônio biológico. Na Figura 3.11, as entradas do neurônio correspondem ao vetor de entrada  $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ . Todas essas entradas são levadas até o neurônio simultaneamente, ou seja, se um neurônio possuir 5 entradas, os sinais das 5 entradas deverão chegar ao núcleo de processamento paralelamente.

Para cada uma das entradas  $x_i$ , há um atributo (valor) peso correspondente, identificado por  $w$  e conhecido por peso sináptico, que representa o grau de importância que a entrada possui. Quando uma entrada é muito estimulada, acaba estimulando também o peso correspondente a sua conexão, aumentando sua influência no resultado do sinal de saída.

Quando as entradas  $x_i$  são apresentadas ao neurônio, elas são multiplicadas pelos pesos  $w_i$ . A soma das entradas  $x_i$  ponderadas pelos pesos  $w_i$  correspondentes é chamada de saída linear  $u$ , onde  $u = \sum_i w_i x_i$ , e é considerada como sinal de excitação do neurônio. Isto quer dizer que a primeira função do neurônio é a função soma que tem por objetivo acumular os dados (estímulos) recebidos.

A saída do neurônio é gerada por outra função do neurônio, normalmente chamada de função de ativação ou função restritiva, que tem como atribuição fazer com que o neurônio tome uma decisão sobre o que fazer com o valor resultante do somatório das entradas ponderadas. Esta decisão, que limita o intervalo permissível de amplitude do sinal de saída dos neurônios, é obtida através da aplicação de uma função  $f(.)$  à saída linear  $u$ , indicada por  $y = f(u)$ . A função de ativação  $f(.)$  pode assumir várias formas, em geral, não lineares. Ensley e Nelson (1992) sugerem algumas funções de ativação contínuas e diferenciáveis mostradas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Funções de Ativação das Redes Neurais Artificiais

<b>Função de Ativação</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Intervalo</b>
Seno	$f(x) = \text{Sen}(x)$	[-1,+1]
Co-seno	$f(x) = \text{Cos}(x)$	[-1,+1]
Gaussiana	$f(x) = e^{-(x^2/2)}$	[0,1]
Gaussiana Negativa	$f(x) = -e^{-(x^2/2)}$	[-1,0]
Secante Hiperbólica	$f(x) = \text{Sech}(x)$	[0,1]
Sigmóide Logística	$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$	[0,1]
Sigmóide Logística Parametrizada	$f(x) = \frac{1}{1+e^{-ax}}$	[0,1]
Sigmóide Logística Simétrica	$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} - 0.5$	[-0,5,+0,5]
Sigmóide Logística Simétrica Dupla	$f(x) = \frac{2}{1+e^{-x}} - 1$	[-1,+1]
Sigmóide Logística Simétrica com Quadrado	$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x^2}} - 0.5$	[-0,5,+0,5]
Sigmóide Logística Simétrica Dupla com Quadrado	$f(x) = \frac{2}{1+e^{-x^2}} - 1$	[-1,+1]
Tangente Hiperbólica	$f(x) = \text{Tanh}(x)$	[-1,+1]

Fonte: ENSLEY & NELSON, 1992

Em alguns casos, a saída do neurônio não vai diretamente para o mundo real, como resultado (resposta) final da rede, mas é conduzida para outros neurônios, a fim de que outras funções sejam realizadas.

Os neurônios interagem entre si ou com suas entradas e saídas por meio de conexões, as quais, como já foi mencionado, podem vir acompanhadas de pesos.

É conveniente abordar os neurônios de uma rede neural como organizados em camadas, caracterizando o padrão de conexão existente entre os mesmos. Em geral, os

neurônios que pertencem a uma mesma camada possuem as mesmas funções e o mesmo padrão de conexão.

Os neurônios da camada de entrada ( $x_i$ ) recebem os sinais provenientes do meio externo, repassando-os à camada intermediária imediatamente posterior. Os neurônios das camadas intermediárias, ou escondidas, processam os sinais recebidos da camada anterior ponderados pelos pesos sinápticos, e, segundo sua função de ativação, emitem o sinal resultado à camada posterior, uma à outra até a camada de saída, que por sua vez emite o sinal resultado do padrão apresentado como entrada.

É esta organização em camadas que caracteriza a arquitetura ou topologia de uma rede neural, como mostra a Figura 3.12. O número de entradas e saídas da rede depende da dimensionalidade dos dados, já o número de camadas de neurônios intermediárias depende da complexidade do problema. “Quanto maior o número de neurônios nas camadas intermediárias, mais complexas são as funções mapeadas com a Rede Neural Artificial. No entanto, um número excessivo de neurônios intermediários pode levar a resultados indesejáveis.” (REZENDE, 2003).

A maneira de contar o número de camadas existentes numa rede neural não está padronizada. Alguns autores incluem na contagem a camada de entrada, por exemplo, e outros não. Neste estudo, serão contadas como camadas de neurônios a camada de entrada, a(s) camada(s) intermediária(s) e a camada de saída.

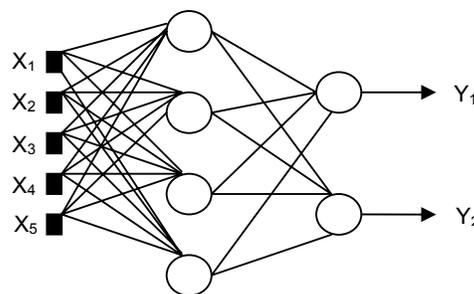


Figura 3.12 - Visão esquemática de uma rede artificial multicamadas  
Fonte: BRAGA, 2000

A rede neural é constituída, ainda, pelo processo de aprendizado, por meio de exemplos, realizado através de algoritmos de aprendizado. Basicamente, considera-se que o processo de aprendizado tem como característica a ocorrência de estímulo à rede, pelo meio externo, através da apresentação de um conjunto de dados. O algoritmo de aprendizado, a partir disto, provoca mudanças nos parâmetros da rede, acarretando mudanças no comportamento da Rede Neural Artificial. Espera-se que mudanças graduais no comportamento da mesma resultem em melhoria gradativa de seu desempenho. O objetivo do processo de aprendizado é então encontrar o ajuste do vetor de pesos a fim de atingir uma solução. Segundo Rezende (2003) e Tafner et. al. (1995), o que diferem os algoritmos de aprendizado é justamente a maneira de obter esse ajuste, podendo ser classificados em três tipos:

- a) Algoritmo (Aprendizado) Supervisionado – neste tipo de algoritmo, a rede é treinada por um supervisor (professor ou treinador), externo à rede, que tem a função de monitorar a resposta da rede para cada entrada. A rede deverá possuir um conjunto de entradas e um conjunto com as saídas desejadas para cada entrada. Deve-se saber, de antemão, qual deve ser a resposta da rede para cada entrada. Toda vez que for apresentada à rede uma entrada, deverá ser verificada se a saída obtida confere com a desejada. Sendo diferente, o algoritmo tenta ajustar os pesos das conexões de forma que a rede armazene o conhecimento desejado. Esta interatividade do treino deverá ser feita até que a taxa de acerto esteja dentro de uma faixa considerada satisfatória. Essa forma de aprendizado é bem conhecida e tem demonstrado ótimos resultados em aplicações reais, principalmente as que envolvem aproximação de funções e classificação de dados.
- b) Algoritmo (Aprendizado) Não-Supervisionado – também conhecido como aprendizado auto-supervisionado, caracteriza-se pela não existência de um professor e de saídas desejáveis para as entradas, sendo o conjunto de treinamento formado apenas pelo vetor de entradas. A rede trabalha essas entradas e se organiza de modo que acabe classificando-as, usando para isso, critérios próprios. Ou seja, o ajuste de peso neste tipo de algoritmo é obtido com base apenas nos valores de entrada. Este tipo de aprendizado é aplicado, tipicamente, a problemas de categorização de dados.

- c) Algoritmo (Aprendizado) por Reforço – este algoritmo pode ser considerado um paradigma intermediário entre o aprendizado supervisionado e o não-supervisionado. O conjunto de treinamento é formado apenas pelos valores de entrada, mas há existência de um crítico externo. Como não há valores de saída desejados para cada entrada, o crítico, em vez de fazer retornar o erro de resposta, faz retornar um sinal de reforço ou penalidade associada à última ação da rede. Se a ação acarretou queda no desempenho da rede, ela será penalizada, passando a ocorrer com menor frequência. Ao contrário, se tiver resultado em melhoria no desempenho da rede, a ação será reforçada ocorrendo com maior probabilidade no futuro. Portanto, pode-se dizer que este tipo de aprendizado visa à maximização do reforço e, conseqüentemente, à melhoria do desempenho da Rede Neural Artificial.

Um dos algoritmos de aprendizagem mais utilizados é conhecido como Propagação Retroativa do Erro (*Backpropagation Error*). Este algoritmo, cuja descrição foi desenvolvida por RUMELHART et al. (1986), é do tipo supervisionado e utiliza pares de entradas e saídas desejadas, para ajustar os pesos da rede por um mecanismo de correção de erros. O aprendizado neste algoritmo ocorre da seguinte forma: os sinais de entrada são apresentados à rede, propagados pelas diversas camadas até a camada de saída, onde é comparado com a saída desejada. O erro gerado pela saída é, então, retropropagado e os pesos das conexões reajustados.

O processo de aprendizagem compreende não apenas a fase de treinamento (aprendizado) da rede, mas também a fase de testes. Como já foi mencionado, a fase de treinamento objetiva a correção dos pesos das conexões, visando a alcançar os valores desejados para a saída. E a fase de testes visa a calcular o erro total da rede, que deve ser minimizado. Por não alterar os pesos, a fase de teste não permite que a rede armazene o conhecimento sobre os padrões de teste, os quais é utilizado tão somente para verificar a quantidade e a qualidade do conhecimento armazenado pela rede durante o treinamento.

Um ciclo de aprendizagem formado pelas fases de treinamento e de teste é conhecido como Época. O número de épocas necessário a um bom ajuste da rede depende, principalmente, da complexidade do problema. E deve ser um aspecto bem observado no projeto da rede, pois em alguns casos, quando o número de épocas é grande, a rede, ao invés

de aprender os padrões de treinamento, começa a memorizá-los, perdendo sua capacidade de inferência. Este problema, que dificulta a utilização das redes neurais, é chamado de *Overfitting* (sobreadequação).

### 3.3.2 - Classificação das Redes Neurais Artificiais

O número de camadas de neurônios, as funções de ativação dos mesmos, os tipos de padrões de conexão e os tipos de algoritmos de treinamento são aspectos que diferenciam os tipos de Redes Neurais Artificiais. Segundo Palma e Nicoletti (2005), as redes neurais podem ser classificadas da seguinte forma:

- a) Quanto ao fluxo de ativações, podendo ser do tipo *Feedforward* ou *Feedback*. Nas Redes Neurais Artificiais *Feedforward*, as conexões entre os neurônios não formam ciclos. São redes normalmente mais rápidas para fornecer as respostas de cada entrada. Vários algoritmos eficientes podem ser usados para o treinamento deste tipo de rede, entre eles o *Backpropagation*. Já nas redes *Feedback*, as conexões entre os neurônios podem ser cíclicas. Normalmente são mais demoradas para produzirem saídas e são mais difíceis de serem treinadas.
- b) Quanto ao tipo de dados que aceitam, podendo ser categórica ou quantitativa. As redes categóricas trabalham com dados que assumem apenas um número finito de valores; e as quantitativas trabalham com valores numéricos reais.

### 3.3.3 - Vantagens das Redes Neurais Artificiais

Segundo Turban et. al. (2003), as redes neurais artificiais apresentam as seguintes vantagens:

- a) Tolerância a falhas – como existem diversos nós de processamento, um defeito em alguns nós ou links não interrompe, necessariamente, as atividades do sistema;

- b) Reconhecimento de padrões – pode analisar grandes quantidades de dados para definir padrões e características, em situações em que a lógica ou as regras não são conhecidas;
- c) Generalização – ao receber uma entrada incompleta ou não prevista anteriormente, uma rede neural pode generalizar para gerar uma resposta razoável;
- d) Possibilidade de Adaptação – a rede aprende em novos ambientes. Os novos casos são usados imediatamente para treinar novamente o programa e mantê-lo atualizado;
- e) Capacidade de previsão – semelhante às estatísticas, é possível fazer as previsões com base em dados anteriores (histórico de dados).

Além disso, vale ressaltar a facilidade que existe hoje para implantar RNA's. Atualmente, as RNA's podem ser implantadas em microcomputadores e em outros sistemas convencionais de computação mediante o uso de pacotes de software que simulam a atividade de uma rede neural, ou através de placas de circuitos co-processadores de redes neurais especializadas para PC's.

### **3.3.4 - Aplicações das Redes Neurais Artificiais**

Em virtude de possibilitarem uma série de vantagens, da década de 80 do século XX para os dias atuais, os modelos de Redes Neurais Artificiais vêm atraindo muita atenção, despertando intenso interesse e se expandindo rapidamente, com aplicações em inúmeras áreas do conhecimento.

As Redes Neurais Artificiais são capazes de resolver uma grande variedade de problemas – de aproximação, predição, classificação, padronização, categorização e otimização, e por isso vêm sendo largamente utilizadas. Algumas aplicações conhecidas são o reconhecimento de caracteres, reconhecimento de voz, reconhecimento de paternidade, controle de processos, avaliação de aplicação de empréstimo, detecção de fraudes de cartões de crédito, verificação de assinaturas em cheques, avaliação da taxa de câmbio estrangeira,

avaliação de pessoal e candidatos a emprego, previsão de investimentos, controle de qualidade na manufatura, entre outros.

Mais recentemente, as Redes Neurais Artificiais passaram a ser aplicadas também a modelos hidrológicos e previsão de tempo. Hsu et. al. (1997), por exemplo, utilizou, em 1996, Redes Neurais Artificiais para realizar cálculos de precipitação através de imagens de satélite.

Pessoa & Freire (1998) utilizaram redes neurais para realizar previsões de precipitação e temperatura. Soares & Soares (1999) aplicaram redes neurais à previsão de temperatura e Silva (2002), utilizou essa mesma técnica para previsão da evapotranspiração de referência.

### **3.3.5 - Projeto de Redes Neurais Artificiais**

Sabe-se que o campo de aplicação das redes neurais é extenso, mas isso não quer dizer que elas podem ser aplicadas a quaisquer situações. Deve-se ter cuidado com o onde, o como e o quando aplicá-las. A rede, apesar da vasta aplicação, possui seus limites e suas áreas específicas de atuação.

O projeto de uma rede neural ou o ciclo de vida da rede é composto pelas seguintes fases: Definição da Rede Neural, Treinamento da Rede, Utilização da Rede e Manutenção da Rede, conforme mostra a Figura 3.13. Num projeto de rede neural não se pode mais pensar em procedimentos, regras ou algoritmos de processamento de dados, mas sim em tipos de dados de entrada, dados de saída e tratamento de dados.

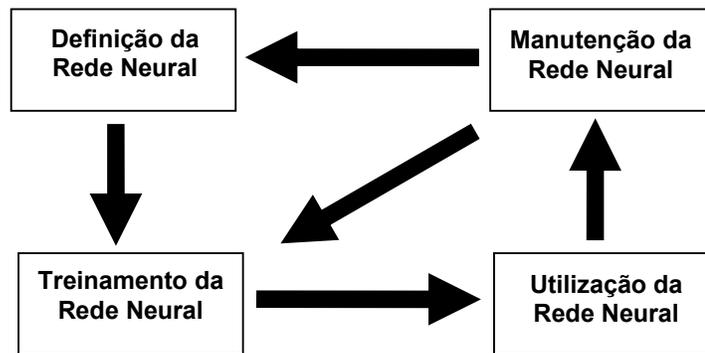


Figura 3.13 - Ciclo de Vida de uma Rede Neural  
Fonte: BRAGA, 2000

Uma outra etapa que poderia ser acrescentada ao projeto da rede, antecedendo as quatro fases do ciclo de vida, é a fase da concepção da rede neural, quando é realizado o planejamento da construção da aplicação e onde são definidas as necessidades fundamentais e específicas para o desenvolvimento da rede, tais como a definição dos equipamentos necessários, dos custos, dos tipos de dados, da precisão e consistência dos dados, etc.

A fase de definição da rede é entendida como uma seleção do paradigma neural. Esta etapa envolve, além da escolha do modelo da rede, a identificação do conjunto das variáveis significativas para a resolução da questão. Esta fase pode se subdividir em:

- a) Definição do tipo de problema a ser resolvido – a identificação do tipo de saída é um ponto extremamente importante para todo o projeto da rede, pois o tipo de saída limita o paradigma a ser selecionado. Tais saídas podem ser interpretadas como: aproximação, predição, classificação, padronização, categorização e otimização.
- b) Configuração da rede – para configurar a rede é preciso especificar os valores e as condições iniciais para o paradigma selecionado. Essas especificações acontecem em 3 níveis: no primeiro nível deve ser selecionado o tipo de entrada e a integração dessas entradas; no segundo nível deve ser escolhido o número de camadas da rede, os números e as funções dos neurônios, e os tipos de conexão (associação). Deve-se ter cuidado ao escolher o número de

camadas, pois quando o número de camadas intermediárias é muito grande, pode acontecer de a rede memorizar os dados ao invés de generalizá-los; e no último nível devem ser definidos o algoritmo e o parâmetro de aprendizado. Configurar a rede significa escolher sua estrutura e esta escolha determina diretamente a qualidade do modelo obtido. Mesmo para uma estrutura definida pode haver um número grande, ou mesmo infinito, de soluções possíveis. O grande desafio no desenvolvimento de modelos neurais é selecionar a melhor, entre inúmeras soluções possíveis.

A fase de treinamento compreende, inicialmente, a definição do tipo de algoritmo de aprendizado que será utilizado. Em seguida, deve-se selecionar um algoritmo específico e começar o treinamento, propriamente dito. O treinamento inicia quando um exemplo é mostrado à rede e termina quando todas as conexões estão devidamente ajustadas para reconhecer todos, ou pelo menos boa parte dos exemplos. Quanto mais exemplos de dados a rede recebe como entrada, melhor é a qualidade do treinamento e melhores serão os resultados da rede.

A partir deste momento, a Rede Neural Artificial está pronta para a fase de testes e, a seguir, para sua execução (utilização). Esta fase de utilização da rede corresponde à execução da mesma, que é iniciada quando uma entrada é apresentada à rede e concluída quando ela gera uma saída.

Mas, antes da utilização propriamente dita, faz-se necessária a realização de testes para qualificar o treinamento, ou seja, para verificar a incidência ou não de erros na rede. Para isso, é recomendável apresentar uma série de casos (já experimentados, novos e extremos) e avaliar as respostas geradas, lembrando que antes é necessário determinar um limite de aceitação da resposta da rede.

Se a etapa de realização dos testes for satisfatória, considera-se a rede bem treinada para a finalidade em questão, estando pronta para sua utilização.

Como as Redes Neurais Artificiais são aplicadas para solucionar problemas dinâmicos, faz-se necessária uma avaliação contínua, ou seja, a manutenção da mesma a fim de garantir uma boa utilização, conforme fluxograma apresentado na Figura 3.14.

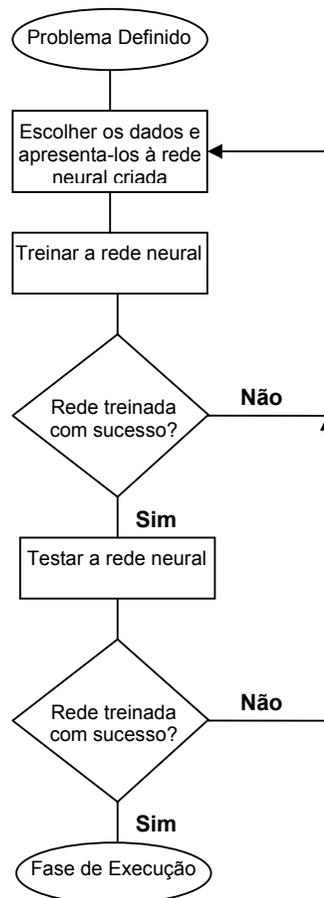


Figura 3.14 - Fluxo de Treinamento e Testes  
Fonte: BRAGA, 2000

Embora uma rede neural só seja utilizada após uma bateria de testes, nada impede que apareçam falhas durante a fase de utilização, pois uma rede não é treinada com 100% dos casos possíveis. Com o passar do tempo, poderão surgir novos dados desconhecidos pela rede, acarretando erros significativos, como a queda de precisão durante o processo de utilização, levando o projetista da rede a retornar à fase de treinamento (aprendizado) ou até mesmo à fase de definição da rede, a depender do caso.

## **CAPÍTULO 4**

### **METODOLOGIA**

## 4.0 – METODOLOGIA

Este capítulo descreve todo o enfoque metodológico adotado nesta pesquisa. Aqui, foram abordadas e descritas as questões norteadoras que conduziram o estudo do problema, o tipo e a delimitação da pesquisa realizada, os métodos e os instrumentos utilizados para a obtenção dos dados, as variáveis que foram trabalhadas e, por fim, como foi realizada a análise dos resultados obtidos.

### 4.1 – QUESTÕES NORTEADORAS DA PESQUISA

A pesquisa teve por finalidade conhecer e explicar os fenômenos que se processam no monitoramento dos dados pluviométricos, as suas estruturas e funções, as mudanças que provocam e até que ponto podem ser controlados e orientados. Para isto, a pesquisa partiu de algumas interrogações:

- a) Quais as entidades (órgãos) que possuem postos pluviométricos no Estado de Sergipe?
- b) Qual o perfil das pessoas responsáveis por esses postos?
- c) Qual a importância dos dados pluviométricos na gestão dos recursos hídricos?
- d) Quantos postos pluviométricos cada entidade possui?
- e) Qual o tipo e o modelo destes postos?
- f) Qual a localização destes postos?
- g) Quais os critérios adotados para a instalação dos instrumentos?
- h) Qual o tamanho das séries históricas de cada um destes postos?
- i) Como são coletados os dados pluviométricos monitorados por estes postos?

- j) Quais os principais problemas que afetam a atividade de monitoramento dos dados pluviométricos?
- k) Como é feito o processamento destes dados?
- l) Como dados inconsistentes podem afetar o planejamento dos recursos hídricos?
- m) É realizado algum procedimento para validação destes dados? Como é este procedimento?
- n) Estes dados estão realmente subsidiando a tomada de decisões no planejamento estratégico dos recursos hídricos do Estado?
- o) Como as Redes Neurais Artificiais podem tornar mais eficiente o tratamento dos dados pluviométricos?

#### **4.2 – TIPO DE PESQUISA**

A pesquisa é um processo de investigação e estudo da realidade. Ou seja, é um plano para a coleta e análise de dados referentes ao objeto de estudo e efetivação da inquirição (FERREIRA, 1996). “Ela é uma atividade voltada para a solução de problemas, através do emprego de métodos científicos” (CERVO e BERVIAN, 1996).

Os critérios para a classificação dos tipos de pesquisa variam muito. “A pesquisa pode ser básica ou fundamental, aplicada, teórica, histórica, descritiva, experimental, bibliográfica, social, tecnológica e metodológica” (LAKATOS e MARCONI, 1991). Porém, segundo Thomas e Nelson (1996), existem três tipos de pesquisa:

- a) Pesquisas Experimentais – têm como objetivo estabelecer uma relação de causa-efeito e o controle de variáveis, visando a verificar uma hipótese de relação causal entre as variáveis.

- b) Pesquisas Descritivas – têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis;
- c) Pesquisas Analíticas – têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Este é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas.

Segundo Gil (1999), o experimento representa o melhor exemplo de pesquisa científica. Essencialmente, a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo e definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. Mas, além dos tipos de pesquisa citados por Thomas e Nelson (1996), Gil (1999) ainda sugere um outro tipo que é a Pesquisa Exploratória, que tem como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e idéias, visando à formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores.

Como esta pesquisa visa a descrever e analisar as características da rede pluviométrica do Estado de Sergipe, pode ser classificada como pesquisa descritiva, permitindo estudar a rede pluviométrica do Estado através de técnicas padronizadas de coleta de dados. Além disso, o presente trabalho pretende verificar a aplicabilidade das Redes Neurais Artificiais ao preenchimento de falhas nas séries históricas de dados pluviométricos e por isso esta pesquisa pode também ser considerada como pesquisa experimental. Portanto, este trabalho de pesquisa pode ser classificado como descritivo-experimental.

### **4.3 – COLETA DE DADOS**

Segundo os métodos de investigação, a pesquisa pode ainda ser classificada em qualitativa ou quantitativa. A pesquisa qualitativa não visa enumerar ou medir eventos. Ela envolve a obtenção de dados descritivos sobre pessoas, objetos, lugares e ou processos, através do contato direto do pesquisador com a situação estudada. Além disso, neste tipo de

pesquisa geralmente não se empregam instrumentos estatísticos para análise dos dados. Já a pesquisa quantitativa procura seguir com rigor um plano previamente estabelecido, baseado em hipóteses claramente indicadas e variáveis que são objeto de uma definição formal (GODOY, 1995).

Assim, este estudo tem uma abordagem essencialmente qualitativa, pois seu objetivo principal é a caracterização da rede pluviométrica do Estado de Sergipe. Porém, tem também aspecto quantitativo quando da investigação da aplicabilidade das Redes Neurais Artificiais ao preenchimento de falhas das séries históricas de dados pluviométricos.

Para coletar os dados necessários à realização de uma pesquisa são utilizados instrumentos e técnicas de investigação, cujo objetivo essencial é obter informações a cerca da realidade. Dentre os instrumentos e técnicas para tanto, estão: Pesquisa Documental, Pesquisa Bibliográfica, Observação, Entrevista, Pesquisa de Campo, Questionário.

No decorrer do trabalho, alguns destes instrumentos e técnicas foram combinados para a aquisição dos conhecimentos variados e necessários para contornar as dificuldades comuns no processo, tornando mais eficaz este estudo.

Na primeira parte desta pesquisa, foram aplicados questionários e realizadas entrevistas junto aos responsáveis pelos postos pluviométricos de cada entidade, visando a coletar dados referentes às variáveis que serão elencadas a seguir. Além disso, foram realizadas pesquisas bibliográfica e documental para obtenção de dados relativos a trabalhos anteriores, essenciais também para o embasamento teórico que alicerçou o desenvolvimento deste trabalho.

Na segunda parte, a principal técnica utilizada foram ensaios laboratoriais com experimentos, posteriormente detalhados, a fim de verificar o comportamento das Redes Neurais Artificiais quando aplicadas para solucionar o problema das falhas (lacunas) nas séries históricas de dados pluviométricos.

Vale salientar que a segunda parte desta pesquisa só foi possível a partir dos resultados da primeira etapa, que permitiram identificar, através dos dados referentes ao tipo

e modelo dos equipamentos, do tamanho de suas séries históricas e dos procedimentos de coleta e de análise das informações monitoradas, dados confiáveis para o treinamento das Redes Neurais Artificiais; o que permite, por sua vez, obter resultados mais confiáveis com os experimentos realizados.

### **4.3.1 – CARACTERIZAÇÃO DA REDE PLUVIOMÉTRICA**

#### **4.3.1.1 – DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS**

Segundo Lakatos e Marconi (1991), uma variável pode ser considerada um aspecto, propriedade ou fator, discernível em um objeto de estudo e passível de mensuração.

Em relação às variáveis utilizadas neste trabalho, elas foram agrupadas em três tipos, mostrados a seguir e que podem ser observados com maiores detalhes no anexo.

- a) **Variáveis sobre o perfil dos responsáveis pelos postos pluviométricos de cada entidade pesquisada:** escolaridade, profissão, função que exerce na entidade, conhecimento sobre questões ambientais, etc;
- b) **Variáveis sobre a estrutura da rede pluviométrica e sobre o processo de monitoramento dos dados pluviométricos no Estado de Sergipe:** postos existentes no Estado, tipo e modelo dos instrumentos, localização e situação desses instrumentos, procedimentos de instalação e manutenção dos instrumentos, procedimentos de coleta e transmissão dos dados, problemas ocorridos na coleta e/ou transmissão dos dados, principais causas e conseqüências desses problemas, etc;
- c) **Variáveis sobre a validação dos dados pluviométricos monitorados:** padrões de dados pluviométricos aceitáveis, métodos para validação dos dados, técnicas de implementação desses métodos, influência do processo de validação no planejamento dos recursos hídricos, etc;

#### **4.3.1.2 – UNIVERSO E AMOSTRA**

Em pesquisa, o conceito de universo é amplo, segundo Gil (1999), “representa um conjunto definido de elementos que possuem determinadas características”. O universo deve ser delimitado a fim de explicar que pessoas, coisas ou fenômenos serão pesquisados, enumerando suas características comuns, como, por exemplo, sexo, faixa etária, comunidade onde vivem, etc. É comum desenvolverem-se pesquisas sem utilizar todos os elementos de um universo. Neste caso, deve ser selecionada uma parte dela, denominada amostra, que é um “subconjunto do universo ou da população, por meio do qual se estabelecem ou se estimam as características desse universo ou população”.

Nesta etapa da pesquisa, o universo pesquisado corresponde às entidades (órgãos estaduais e federais) que possuem postos pluviométricos no Estado de Sergipe e que deveriam integrar a Rede Pluviométrica do Estado. Segundo informações da SRH/SE, no Estado de Sergipe, 06 entidades deveriam integrar esta rede: o INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, a CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba, a EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, o DEAGRO – Departamento Estadual de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe, o DEHIDRO – Departamento Estadual de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe e a própria SRH/SE – Superintendência de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe. Esta rede, por sua vez, deverá integrar-se à rede da ANA – Agência Nacional de Águas. Como foi possível pesquisar os seis elementos do universo, não foi definida uma amostra.

#### **4.3.2 – EXPERIMENTOS COM REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA O PREENCHIMENTO DE FALHAS DAS SÉRIES HISTÓRICAS DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS**

##### **4.3.2.1 – SOFTWARE UTILIZADO**

Todos os experimentos realizados neste trabalho foram desenvolvidos através da utilização do JavaNNS – Neural Network Simulator, que representa a versão em Java do

SNNS – Stuttgart Neural Network Simulator. O objetivo deste simulador é fornecer um ambiente eficiente e flexível para pesquisa e aplicação de redes neurais, possuindo uma interface bastante amigável, mostrada na Figura 4.1, que inclui uma série de funcionalidades que possibilitam a solução de uma grande quantidade de problemas.

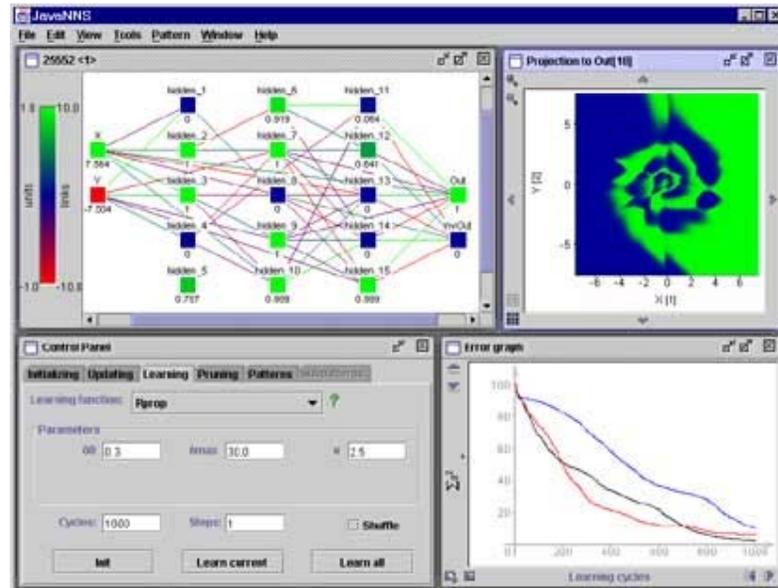


Figura 4.1 – Interface do Java NNS  
Fonte: ZELLS, 2006

Através da interface gráfica do JavaNNS, é possível visualizar a arquitetura da rede criada, que é armazenada pelo simulador em um arquivo do tipo “.net”, ou seja, é possível ver a estrutura da rede com o seu número de camadas, o número de neurônios de cada camada, o tipo de conexão entre os neurônios e o tipo de função das camadas.

O treinamento da rede também pode ser totalmente definido e controlado pela interface do JavaNNS, através do Painel de Controle, onde se pode definir os parâmetros de aprendizado adotados, o algoritmo de aprendizado e o padrão a ser inserido na rede que, por sua vez, especifica o tipo de informação que se busca conhecer com a rede e que é armazenado em um arquivo tipo “.pat”.

A execução do treinamento da rede é um outro aspecto que pode ser acompanhado através da interface do JavaNNS a partir do Gráfico de Erro, que permite verificar o ajuste

dos pesos do decorrer do treino e os resultados obtidos após o treinamento, armazenados em um arquivo do tipo “.res” (CERA, 2005).

Além destas características que fazem do JavaNNS uma ferramenta extremamente útil e fácil de usar para criação, manipulação e simulação de redes neurais, vale salientar que o JavaNNS é um software livre, facilmente obtido através do site [http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/forchung/JavaNNS/welcome\\_e.html](http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/forchung/JavaNNS/welcome_e.html) (UNIVERSITY OF TÜBINGEN, 2006).

#### **4.3.2.2 – DADOS UTILIZADOS**

Ao longo deste trabalho foram obtidas, junto à Superintendência de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe – SRH/SE, as séries históricas, mensais e diárias, de dados de precipitação monitorados em 52 postos pluviométricos, sendo 49 pertencentes ao DEAGRO e 03 da própria SRH/SE. Todos esses dados foram disponibilizados em arquivos de planilha eletrônica. Os dados mensais foram disponibilizados em arquivos do Excel e os dados diários em arquivos do Surfer.

No entanto, para a realização dos experimentos, a seguir descritos, foram utilizados os dados de apenas cinco postos – Indiaroba, Cristinápolis, Umbaúba, Arauá e Estância. Todos os experimentos foram testados para preencher “supostas” lacunas na série histórica de Indiaroba e, por isso, foram utilizados dados deste posto. Os dados dos demais postos citadas foram utilizados por serem postos adjacentes, ou seja, de municípios circunvizinhos, que apresentam comportamento pluviométrico semelhante ao da região do posto estudado – Indiaroba, conforme pode ser observado nas planilhas expostas no anexo B.

Vale ressaltar que a escolha destes cinco postos deve-se ao fato de que todos eles possuem equipamentos considerados padronizados, segundo a Organização Mundial de Meteorologia e, por isso, suas séries tendem a ser mais confiáveis. Além disso, são séries longas e com poucas lacunas. Fatores que permitem um melhor treinamento da rede. Uma rede treinada com dados inconsistentes ou com muitas falhas não produzirá um resultado confiável.

O número de meses utilizados foi determinado empiricamente. No entanto, a definição dos meses se deu baseado na clara distinção entre os meses que compõem a estação chuvosa – de abril a agosto – e os que compõem a estação de estiagem – setembro a março. A ocorrência de precipitação no Estado de Sergipe é naturalmente bastante irregular mesmo dentro destes intervalos de meses, mas analisando o regime pluviométrico anual é notável que a maior concentração de chuva ocorre nos meses de abril a agosto, e por isso, este período é chamado de estação chuvosa. Por esta razão, foi delimitado para uso nesta pesquisa o intervalo de meses entre Maio e Agosto, que apresentam melhor regularidade.

A pouca regularidade dos dados, observada nas séries históricas e a pouca redundância de valores são fatores que dificultam o aprendizado da rede, que não consegue interpolar valores e reconhecer um padrão. Por isso, antes de realizar os experimentos, foram criadas categorias de precipitação, segundo a Tabela 4.1, sendo utilizadas nos experimentos as categorias de precipitação registradas nos períodos citados e não os valores do volume de chuva.

Tabela 4.1 – Categorias de Precipitação

INTERVALO DE PRECIPITAÇÃO	CATEGORIA
0 a 40 mm	1
41 a 80 mm	2
81 a 120 mm	3
121 a 160 mm	4
161 a 200 mm	5
201 a 240 mm	6
241 a 280 mm	7
281 a 320 mm	8
321 a 360 mm	9
361 a 400 mm	10
> 400 mm	11

A criação destas categorias foi realizada através de um programa desenvolvido em Linguagem C, cujo código está exposto no anexo C.

### 4.3.2.3 – EXPERIMENTOS REALIZADOS

Após a obtenção e preparação dos dados, foram desenvolvidos 03 experimentos, no intuito de avaliar a aplicabilidade das redes neurais no preenchimento de falhas de séries históricas de dados de precipitação.

Em se tratando da arquitetura das redes criadas, os experimentos se diferem apenas no número de camadas que compõem a rede e no número de neurônios de cada camada, mas a forma de conexão entre os neurônios é a mesma em todos os experimentos – feedforward, assim como as funções de ativação das camadas de entrada, intermediária e de saída são as mesmas em todos os experimentos, Act\_Logistic, Act\_Logistic e Act\_Identity, respectivamente.

Quanto aos treinamentos realizados, todos os experimentos utilizam os mesmos parâmetros e o mesmo algoritmo de aprendizado – o *Backpropagation*. Com este algoritmo, os dados de entrada são repetidamente apresentados para a rede neural. A cada apresentação a saída da rede neural é comparada à saída desejada e um valor de erro é calculado. Este erro é propagado de volta (*backpropagated*) à rede neural e usado para ajustar os pesos das conexões, buscando reduzir o erro a cada interação, de forma que o resultado se aproxime cada vez mais da saída desejada (CERA, 2005).

#### a) **EXPERIMENTO 01:**

- Número de Camadas da rede: 3
- Número de Neurônios na camada de entrada: 4
- Número de Neurônios na camada intermediária: 64
- Número de Neurônios na camada de saída: 11
- Variáveis Utilizadas: Valores das categorias de precipitação referentes aos volumes de chuva registrados nos meses de maio a agosto dos anos de 63 a 84 dos postos adjacentes de Cristinápolis, Umbaúba, Arauá e Estância.

#### b) **EXPERIMENTO 02:**

- Número de Camadas da rede: 3
- Número de Neurônios na camada de entrada: 4
- Número de Neurônios na camada intermediária: 128

- Número de Neurônios na camada de saída: 11
- Variáveis Utilizadas: Valores das categorias de precipitação referentes aos volumes de chuva registrados nos meses de maio a agosto dos anos de 63 a 84 dos postos adjacentes de Cristinápolis, Umbaúba, Arauá e Estância.

c) **EXPERIMENTO 03:**

- Número de Camadas da rede: 4
- Número de Neurônios na camada de entrada: 4
- Número de Neurônios na primeira camada intermediária: 64
- Número de Neurônios na segunda camada intermediária: 64
- Número de Neurônios na camada de saída: 11
- Variáveis Utilizadas: Valores das categorias de precipitação referentes aos volumes de chuva registrados nos meses de maio a agosto dos anos de 63 a 84 dos postos adjacentes de Cristinápolis, Umbaúba, Arauá e Estância.

#### 4.4 – ANÁLISE DOS DADOS

O objetivo da análise é “organizar e resumir os dados de forma tal que possibilitem o fornecimento de respostas ao problema proposto para investigação” (GIL, 1999).

Primeiramente, foram identificados: os perfis dos responsáveis pelos postos pluviométricos existentes no Estado; a estrutura da rede pluviométrica do Estado (os instrumentos existentes, o tipo, o modelo e a localização dos mesmos e o tamanho das séries históricas disponíveis); o processo de monitoramento dos dados pluviométricos (forma de coleta e transmissão dos dados e os problemas que ocorrem nesses processos); e os mecanismos de tratamento dos dados coletados. A partir dos resultados obtidos nesta primeira etapa, foi possível fazer uma análise da estrutura, da densidade e da distribuição dos instrumentos da rede pluviométrica do Estado de Sergipe, permitindo propor ações que proporcionem a melhoria da mesma, bem como identificar séries históricas possivelmente mais confiáveis para a realização dos experimentos com as Redes Neurais Artificiais. Estes experimentos, por sua vez, tiveram seus resultados avaliados, através da taxa de erro que cada um produziu, no intuito de verificar se os experimentos realizados produziram um resultado aceitável ao preencher uma lacuna existente em uma determinada série histórica.

## **CAPÍTULO 5**

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

## **5.0 – RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Neste tópico estão apresentadas, à luz dos dados obtidos, as principais características dos diversos postos pluviométricos, pertencentes a diferentes entidades públicas, existentes no Estado de Sergipe, especificando o número de postos que cada órgão possui, o tipo e o modelo dos instrumentos utilizados, a localização e a situação de funcionamento dos mesmos, o tamanho das séries históricas de dados pluviométricos de cada um e o perfil das pessoas que os gerenciam. Além disso, foram expostas informações sobre o processo de obtenção dos dados de chuva, abordando desde os objetivos e maneiras de monitorar tais dados, até os problemas que ocorrem ao longo deste processo, citando também algumas das principais causas e conseqüências desses.

Neste capítulo também foram discutidos os resultados obtidos com a utilização das Redes Neurais Artificiais para solucionar um dos principais problemas encontrados nas séries históricas de dados pluviométricos monitorados no Estado de Sergipe, que é a existência de inúmeras lacunas (ausências de registro).

### **5.1 – CARACTERIZAÇÃO DA REDE PLUVIOMÉTRICA DO ESTADO DE SERGIPE**

Antes de proceder a uma análise e discussão sobre as características da rede pluviométrica em si, torna-se imprescindível um breve relato sobre o perfil das pessoas responsáveis pelos postos que devem fazer parte dessa rede, para o estabelecimento de algumas correlações e conclusões.

#### **5.1.1 – PERFIL DOS TÉCNICOS QUE GERENCIAM OS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS**

Os dados aqui apresentados foram obtidos através da realização de entrevistas com as pessoas responsáveis pelos postos pluviométricos das entidades públicas, federais e estaduais, que mantêm este tipo de instrumento no Estado de Sergipe. São elas: em nível federal – INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), EMBRAPA (Empresa Brasileira de

Pesquisa Agropecuária) e CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco e do Parnaíba); e em nível estadual – SRH/SE (Superintendência de Recursos Hídricos do Estado de Sergipe), DEAGRO (Departamento Estadual de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe) e DEHIDRO (Departamento Estadual de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe).

As pessoas entrevistadas em cada uma dessas entidades e suas respectivas funções estão apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Relação das pessoas entrevistadas e suas funções.

<b>ENTIDADE</b>	<b>PESSOA ENTREVISTADA</b>	<b>FUNÇÃO</b>
CODEVASF	Manuel Lucas	Assistente Técnico em Desenvolvimento Regional
DEAGRO	Adilson Cavalcante	Chefe da Assessoria de Planejamento
DEHIDRO	Elder Prudente Barbosa	Engenheiro Agrônomo
EMBRAPA	Ana Alexandrina Gama	Pesquisadora
SRH	Overland Amaral Costa	Coordenador do Centro de Meteorologia e Recursos Hídricos

No INMET, que não possui nenhum escritório sediado neste Estado, as perguntas da entrevista foram inseridas em um questionário, enviado através do site <http://www.inmet.gov.br> ao e-mail [webmaster@inmet.gov.br](mailto:webmaster@inmet.gov.br). No entanto, não houve retorno do questionário respondido. Por esta razão, só foram consideradas nesta pesquisa os dados dos postos disponíveis no site supracitado.

Em todas as entidades onde a entrevista foi realizada, verificou-se que os postos pluviométricos estão atualmente sob a responsabilidade de departamentos técnicos específicos, cujos representantes possuem formação de nível superior ou cursos de pós-graduação em áreas correlatas – Engenharia Agrônoma, Hidroclimatologia, Manejo de Água e Solo em Microbacias Hidrográficas, entre outras; e desempenham, dentro de sua instituição, funções inerentes aos objetivos que fazem com que a entidade mantenha seus postos.

Nas entrevistas, constatou-se que todos os responsáveis pelos postos têm um considerável grau de consciência ambiental. Acreditam que o modelo de desenvolvimento atual, ou seja, a forma de progresso atualmente adotada contribui para a degradação ambiental, mas que é perfeitamente possível conciliar o desenvolvimento econômico e social com a preservação da natureza, através de uma gestão adequada dos recursos naturais, que vise a racionalizar o processo de exploração desses recursos. Ou seja, acreditam que é possível essa conciliação através do desenvolvimento ecologicamente correto, denominado desenvolvimento auto-sustentável ou, simplesmente, desenvolvimento sustentável.

As entrevistas mostraram que todos estão certos de que a atividade profissional que exercem pode contribuir de alguma forma para alcançar esse tipo de desenvolvimento, não fossem as várias dificuldades, que serão posteriormente relacionadas, enfrentadas para realizarem suas tarefas.

### **5.1.2 – OS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS E O PROCESSO DE MONITORAMENTO DAS PRECIPITAÇÕES**

Todas as pessoas entrevistadas demonstram uma perfeita compreensão do que vem a ser o processo de monitoramento ambiental, concordando que se trata de uma atividade extremamente importante cujo objetivo é acompanhar o comportamento dos recursos naturais de forma sistemática, controlada e progressiva, a fim de avaliar impactos e permitir o controle, preservação e recuperação de áreas e recursos degradados.

Quando questionados sobre a importância dos dados pluviométricos para a gestão dos recursos hídricos, percebe-se que a relevância desse tipo de informação apontada pelos entrevistados está intimamente relacionada aos objetivos pelos quais a entidade mantém os postos.

Na SRH/SE, o objetivo de possuir postos pluviométricos é para monitorar e custodiar informações sobre ocorrência de precipitação e disponibilizá-las a outros órgãos, indústrias, produtores rurais e comunidade em geral. Dentre os usuários citados dessas informações estão a Defesa Civil, Secretaria de Infraestrutura, Secretaria de Turismo,

empresas ligadas a eventos e transporte, agricultores, associação de pecuaristas, associação de viveiristas, sorveterias e até empresas de moda. Como o órgão é bastante consultado, o entrevistado acredita que tais dados têm importância vital, primeiramente, para que o papel da entidade seja cumprido. Depois, porque os dados pluviométricos constituem uma das informações necessárias para se realizar o balanço hídrico de uma região, para estimar se haverá oferta suficiente para atender a demanda por água e para desenvolver projetos e programas de controle e prevenção de cheias e estiagens. Atividades, estas, que contribuem para uma gestão eficiente dos recursos hídricos.

O DEAGRO também possui postos pluviométricos no intuito de monitorar as precipitações e repassar os dados obtidos a outras entidades, como UFS, IBGE, EMBRAPA, Secretaria da Agricultura e a própria SRH/SE. Os boletins elaborados também são divulgados para as comunidades locais que desenvolvem atividades agropecuárias e/ou que sofrem muita influência das chuvas. A partir das informações divulgadas pela entidade, os usuários podem desenvolver suas atividades de maneira que possa contribuir para a gestão dos recursos hídricos. Por isso, o entrevistado afirma que os dados pluviométricos têm papel fundamental, embora mencione que “a importância que o Estado dá a esses dados não condiz com sua relevância”. Para ele “o Estado, atualmente, só se preocupa quando há longos períodos de estiagem”.

Para o DEHIDRO o objetivo de possuir postos pluviométricos é bastante específico -monitorar a entrada de água no ciclo hidrológico, fazer o balanço hídrico e possibilitar, a partir dessa informação, o uso racional da água no manejo da irrigação. Segundo o entrevistado, “o monitoramento dos dados pluviométricos nos perímetros irrigados é essencial para saber o aporte de água”, sendo esta a principal importância desses dados para a gestão dos recursos hídricos.

Segundo informações obtidas no DEHIDRO, “só o Paltô de Neópolis consome diariamente cerca de  $4\text{m}^3$ /segundo de água, quase o mesmo que a população inteira de Aracaju”, o que justifica a importância de se conhecer a entrada de água no sistema para calcular o volume realmente necessário para irrigação, evitando desta forma o desperdício de água. Este foco na irrigação dado pela entidade é extremamente importante para a gestão dos recursos hídricos, pois conforme descreve Mantovani et. al. (1998), a agricultura

irrigada representa o maior consumidor de água dentre os diversos usuários finais deste recurso natural, chegando em muitos países a totalizar 70% do consumo. No Brasil, estima-se que quase metade da água seja consumida na agricultura irrigada. Estes números indicam que qualquer política ou trabalho relacionado ao manejo dos recursos hídricos deve considerar a irrigação como um componente fundamental.

A CODEVASF revelou que, para as atividades que desenvolve, as informações fluviométricas são as mais importantes. No entanto, visando ao monitoramento das bacias hidrográficas do São Francisco e do Poxim e, principalmente, ao desenvolvimento dos perímetros irrigados que possui, mantém alguns postos pluviométricos a fim de proporcionar um manejo eficiente da irrigação, através da realização do balanço hídrico da região.

Para a EMBRAPA, os postos são mantidos para o desenvolvimento de algumas pesquisas agropecuárias que, por sua vez, objetivam o desenvolvimento agropecuário da região. A entrevistada entende que os dados pluviométricos têm grande importância para a gestão dos recursos hídricos, pois através deles é possível determinar a vazão máxima e mínima das bacias hidrográficas, calcular probabilidade de ocorrência de chuva, realizar previsões de chuva a curto e médio prazo, entre outras coisas. E, por isso, a entrevistada acredita que indiretamente os trabalhos de sua entidade contribuem para a gestão destes recursos.

O número de postos que cada uma das entidades possui está relacionado na tabela abaixo:

Tabela 5.2 – Número de postos pluviométricos por entidade

<b>ENTIDADE</b>	<b>Nº DE POSTOS</b>
CODEVASF	02
DEAGRO	102
DEHIDRO	05
EMBRAPA	05
INMET	05
SRH	04

As características de cada um desses postos estão relacionados nas Tabelas D.1 a D.6 mostradas no Anexo D. Os tipos de equipamento 1, 2 e 3 especificados nestas tabelas, referem-se, respectivamente, a Pluviômetro Convencional, Pluviógrafo e Pluviômetro Automático. E as situações identificadas por A e D referem-se à Situação Ativo ou Desativado, respectivamente.

Os representantes da CODEVASF e da EMBRAPA consideram que o número de postos que sua entidade possui é suficiente, ou seja, atingem os objetivos da entidade. No entanto, a SRH/SE e o DEHIDRO não consideram o número suficiente. Para a SRH/SE, seriam necessários no mínimo 60 (sessenta) postos pluviométricos. Para o DEHIDRO seria interessante adquirir pelo menos mais 05 (cinco) postos em cada um dos 05 (cinco) perímetros irrigados. Segundo o entrevistado desta entidade, embora um pluviômetro cubra uma área relativamente grande (tenha uma boa abrangência), a irregularidade de precipitação no Estado, principalmente em algumas regiões, requer que sejam instalados um maior número de instrumentos.

O representante da DEAGRO não soube precisar quantos postos seria ideal. A entidade já possui bastantes pluviômetros, pois muitos foram herdados da extinta SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste. Segundo ele, talvez o número que possui já seja o suficiente, mas podem não estar bem distribuídos. Além disso, o entrevistado afirma que embora sejam aparentemente muitos, boa parte deles não é de boa qualidade.

Totalizando os postos pesquisados, tem-se 123 (cento e vinte e três) postos pluviométricos no estado. Dos quais 23 estão inativos e 100 em funcionamento. Fazendo uma análise quantitativa, esse número parece suficiente. De acordo com a Organização Mundial de Meteorologia – OMM (WMO – World Meteorological Organization), os valores de densidade mínima das redes pluviométricas variam a depender do tipo de região, como mostrados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 – Densidade mínima da rede pluviométrica por tipo de região.

TIPO DE REGIÃO	DENSIDADE MÍNIMA NORMAL (posto/Km <sup>2</sup> )
Regiões planas de clima tropical mediterrâneo e temperado	1:600 a 1:900
Regiões montanhosas de clima tropical, mediterrâneo e temperado	1:100 a 1:250
Pequenas ilhas montanhosas com precipitação irregular	1:25
Regiões áridas e polares	1:1500 a 1:10000

Fonte: WMO, 1983.

Sabendo-se que o Estado de Sergipe possui uma área de aproximadamente 21.994 Km<sup>2</sup>, e que se encontra no primeiro tipo de região apresentado na Tabela 5.3, pode-se concluir que a densidade da rede pluviométrica no Estado é de aproximadamente 1:179, o que significa dizer que o número total de postos em atividade no Estado corresponde a uma medição a cada 179 Km<sup>2</sup>, valor este considerado muito bom se comparado com o padrão universal.

No entanto, é importante analisar não somente a quantidade, mas a qualidade dos instrumentos utilizados em cada um dos postos. Dos 100 postos em funcionamento, 15 são automáticos e 85 são convencionais. Embora alguns estudos, como o de Sentelhas e Caramori (2002), relatem a ocorrência de inconsistências na medida de chuva com pluviômetros de balança utilizados em estações automáticas, sabe-se que este tipo de equipamento minimiza uma série de outros problemas decorrentes do processo de observação e transcrição dos dados dos postos convencionais. Apesar disso, a qualidade dos equipamentos não é medida apenas pelo fato de ser automática ou convencional, mas também por outros aspectos, como área de captação e o sistema de balança (resolução e número de básculas). Das 15 estações automáticas existentes, 12 possuem pluviômetros com apenas uma balança, diferentemente do padrão universal recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia, que deve possuir básculas duplas, que só aparece em 03 estações da EMBRAPA. Quanto aos pluviômetros convencionais, também é possível perceber que muitos não são do tipo Ville de Paris ou equivalente, isto é, muitos também não são considerados padronizados. Diante disto, e observando as Tabelas D.1 a D.6, pode-se verificar que dos 100 postos ativos, apenas 42 possuem equipamentos

padronizados. O fato do equipamento ser considerado padrão implica diretamente na qualidade, em termos de precisão, das séries históricas de dados gerados pelo mesmo. E, por isso, é importante que as entidades invistam na modernização de seus postos, buscando a obtenção de dados mais confiáveis. No entanto, é importante ressaltar que a padronização não é o único aspecto que influencia a qualidade dos dados. Um bom observador de um equipamento não padronizado pode gerar melhores resultados que um observador ruim (descomprometido, desatencioso e com pouco conhecimento técnico) de um equipamento padronizado.

Apesar da importância da padronização, um dos entrevistados, do DEAGRO, não soube dizer o modelo de seus equipamentos, os entrevistados da DEHIDRO e da CODEVASF souberam informar o modelo, mas desconhecem quais seriam instrumentos padronizados. Apenas os entrevistados da EMBRAPA e da SRH/SE sabem qual o modelo e têm conhecimento da padronização.

Analisando-se o período de funcionamento dos postos pesquisados, pode-se constatar que o número de equipamentos instalados nos últimos 10 anos aumentou significativamente, e que não existem muitos postos antigos, ou seja, existem poucos postos no Estado com séries longas, com mais de 20 anos.

Outro aspecto importante a ser analisado é a distribuição desses postos pluviométricos. No entanto, este aspecto se tornou difícil de ser analisado, pois para alguns postos, em especial do DEAGRO, não foram informados a localização.

Na verdade, o representante do DEAGRO não soube informar a localização de nenhum de seus postos. No escritório central, em Aracaju, não há esta informação. Em consulta aos escritórios sediados em alguns municípios do interior do Estado, foi possível obter as coordenadas de alguns poucos postos. A maior parte das coordenadas geográficas que constam na Tabela 5.8, foram obtidas junto à SRH/SE e à EMBRAPA, que possuem dados de alguns postos do DEAGRO. No entanto, 33 postos (21 ativos e 12 desativados) ainda estão sem a localização geográfica.

Apesar da falta dessa informação, os entrevistados afirmam que os postos são mal distribuídos. A região do Litoral sergipano, que compreende a planície e o contato com os tabuleiros, e a região do Agreste, que compreende a zona de transição entre o litoral e o Semi-árido possuem uma boa cobertura dos postos pluviométricos. Já o Semi-árido, que compreende o pediplano sertanejo, e que é a região mais afetada por problemas relacionados à falta de chuva possui, proporcionalmente, o menor número de postos.

O ideal seria remanejar alguns postos pluviométricos, deslocando equipamentos de áreas que apresentam uma certa concentração destes para áreas com baixa densidade pluviométrica, levando-se em conta a irregularidade do regime pluviométrico do Estado. No entanto, o remanejamento destes equipamentos deve ser feito com muita cautela no intuito de manter os dados monitorados, até o momento do remanejamento, vinculados ao local de origem do posto. Ou seja, deve-se ter cuidado para que o deslocamento seja apenas do equipamento, pois a série histórica gerada pelo mesmo refere-se ao local onde estava instalado e não ao equipamento. O que é muito difícil pois, em geral, as séries de dados pluviométricas estão relacionadas ao posto e não à localização geográfica.

Um outro fator relevante relativo aos postos de coleta de dados de precipitação, refere-se à instalação desses equipamentos. A Tabela 5.4, abaixo, mostra, para cada aspecto citado, o percentual dos entrevistados que afirma observá-lo no ato da instalação dos equipamentos de medição de precipitação.

Tabela 5.4 – Percentual de Entrevistados que observam critérios de instalação dos equipamentos

ASPECTO OBSERVADO	PERCENTUAL DE ENTREVISTADOS
Altura do pluviômetro	100%
Distância de eventuais obstáculos	80%
Terreno onde o equipamento é instalado	100%
Vegetação Local	60%

Apenas um, dentre os 05 (cinco) entrevistados – da SRH/SE – apontou que, além dos aspectos acima elencados, observa também referência (coordenada) geográfica espacial, a fim de verificar a distribuição de seus postos.

A não observância por parte de alguns entrevistados (da EMBRAPA e do DEAGRO) de critérios como distância de eventuais obstáculos e vegetação local, pode comprometer a qualidade dos dados monitorados por seus postos, pois tais aspectos influenciam na medição da variável de precipitação. É importante que as entidades revejam os locais e as condições de instalação de seus equipamentos, seguindo as regras estabelecidas pela Organização Mundial de Meteorologia, visando a evitar problemas na medição da precipitação. No entanto, ao afirmar que não são observados alguns aspectos, percebe-se que alguns entrevistados desconhecem a influência de tais aspectos no processo de monitoramento dos dados pluviométricos.

Quanto à forma e à periodicidade com que os dados são coletados, obviamente há diferenças entre os procedimentos adotados entre um equipamento convencional e um equipamento automático. Nos pluviômetros convencionais, todos os observadores (operadores) de cada uma das entidades recolhem as informações diariamente, no turno da manhã e em horários fixos. O que difere uma entidade da outra é a periodicidade com que os observadores repassam as informações coletadas para o órgão responsável. Apenas o DEHIDRO não informou como e de quanto em quanto tempo os dados chegam à sede do órgão.

O DEAGRO, que possui o maior número de postos pluviométricos, possui escritórios sediados em quase todos os municípios do Estado, sendo cada um dos escritórios responsável pela coleta dos dados dos equipamentos sob sua responsabilidade e pelo posterior envio das informações ao escritório central em Aracaju. Quando não é o próprio técnico responsável pelo escritório quem faz a observação e registro, o operador faz os registros e a cada 15 dias, o técnico do escritório sede recolhe as anotações.

Na CODEVASF, os observadores agrometeorológicos coletam as informações diariamente às 9:00, às 15:00 e às 21:00 horas. E na SRH/SE, os valores anotados em cadernetas próprias são transmitidos via boletim 05 (cinco) dias após o fechamento do mês, no caso dos dados de alguns postos. Em outros casos, um estagiário telefona, diariamente, para os observadores para anotar o valor coletado ou recebe via e-mail, também diariamente. Este procedimento adotado pela SRH/SE, em geral demanda muito tempo, mas

evita que o observador esqueça ou, por qualquer outro motivo, deixe de fazer a observação. Além disso, se o observador passa um valor que o técnico já julga ou desconfia que esteja errado, pode solicitar outra leitura de imediato.

Quanto aos equipamentos automáticos, a SRH/SE informou que a coleta e transmissão dos dados pluviométricos desse tipo de equipamento é realizado via celular GSM ou através de infravermelho, utilizando-se neste caso um *notebook* ou um *hand desk*. Todas os postos automáticos da entidade estão também interligadas ao INPE/CPTEC via satélite. Desta forma, também é possível obter as informações de seus postos on-line no site [www.cptec.inpe.br/dados\\_observados](http://www.cptec.inpe.br/dados_observados), onde os dados são atualizados de três em três horas. Na EMBRAPA, onde os equipamentos também são automáticos, os dados ficam armazenados num Datalogger, sendo coletados a cada 15 dias.

O DEAGRO também possui alguns equipamentos automáticos, mas o entrevistado na entidade não soube precisar a tecnologia usada para coleta e transmissão dos dados, nem com que periodicidade, o levantamento das informações é realizado. As demais entidades pesquisadas não possuem postos automáticos e, por isso, não responderam a essa questão.

No que se refere à manutenção, percebemos que 80% dos entrevistados realizam algum tipo de manutenção nos pluviômetros e pluviógrafos. Apenas uma entidade – o DEHIDRO – informou que atualmente não realiza nenhum procedimento de manutenção por falta de pessoal com conhecimento técnico para tal atividade, falta de apoio institucional e de logística. No entanto, afirmou que há cerca de 01 ano era comum efetuar, periodicamente, a calibração dos pluviógrafos e realizar alguns reparos no abrigo (sítio) onde os equipamentos estão instalados, como capinagem do mato, conserto nas cercas, entre outros.

Entre as entidades que realizam manutenções, verifica-se que algumas, como a SRH/SE, EMBRAPA e CODEVASF, procuram efetuar procedimentos de manutenção preventiva, fazendo periodicamente uma limpeza nos equipamentos e alguns testes, que incluem a verificação de possíveis vazamentos, obstruções, tempo de resposta, se o equipamento está transmitindo informações e se os sensores estão aferidos. Entretanto, algumas entidades, como o DEAGRO, realizam manutenção corretiva apenas, ou seja,

quando o equipamento apresenta algum problema, é checada a causa desse problema e, se for possível, é realizada a manutenção, que pode ser desde uma simples limpeza até a substituição do equipamento, caso exista disponibilidade em estoque, no caso dos pluviômetros e a troca de refil ou de tinta dos pluviógrafos.

Em uma das visitas realizadas, ao longo da pesquisa, a um dos escritórios do DEAGRO, no intuito de verificar os equipamentos e o processo de coleta de informações, foi possível constatar a deficiência que existe neste aspecto de manutenção. Este posto do DEAGRO pode ser considerado um dos mais completos da entidade. Nele é possível verificar uma grande variedade de equipamentos e sensores: heliógrafo, pluviógrafo, pluviômetros convencional e automático, psicômetro e uma estação automática com sensores de temperatura e umidade relativa, radiação solar, velocidade de vento, molhamento folhar, chuva e comprimento do dia. No entanto, alguns equipamentos encontravam-se sem funcionar como o pluviômetro automatizado, da Texas Eletronics Inc., que está dentro dos padrões estabelecidos pela Organização Mundial de Meteorologia, mas está parado desde 2002. O equipamento apresentava, inclusive, um cabo cortado, conforme mostra a Figura 5.1, já outros equipamentos e sensores encontravam-se com problemas, necessitando de manutenção, como era o caso do pluviômetro ligado à estação automática, identificada por 1822 – Deagro Boquim, cujo tempo de resposta não estava bom, talvez em decorrência de algum problema no cabo ou de sujeira na concha do pluviômetro, como mostra a Figura 5.2.



Figura 5.1 - Pluviômetro automatizado, localizado no posto da Deagro em Boquim.  
Fonte: CARVALHO, Adriana



Figura 5.2 – Bâscula do Pluviômetro da Estação automática 1822 – Deagro-Boquim com sujeira.  
Fonte: CARVALHO, Adriana

Além destas, algumas outras falhas podem ser verificadas nesse ponto do DEAGRO: o fato do abrigo estar situado a aproximadamente 50 metros de uma construção, podendo ocasionar alterações na velocidade do vento; a presença de luz artificial em 04 (quatro) pontos do abrigo, que pode interferir no sensor de radiação solar; e a vegetação existente dentro do abrigo que estava diferente da vegetação de fora do abrigo. A grama foi cortada, mas foi mantida dentro do abrigo, aumentando a temperatura dentro do mesmo, que acaba provocando um efeito OASIS – o vento, quando chega ao abrigo, ganha mais velocidade e a evapotranspiração dentro dele fica menor que do lado de fora. Estas falhas podem não interferir na medição da precipitação, mas demonstram ou falta de conhecimento ou um descaso em relação às conseqüências delas.

### **5.1.3 – OPERADORES DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS**

No tocante às pessoas que coletam, em campo, os dados monitorados pelos postos pluviométricos, chamadas de operadores ou observadores, verifica-se que em 40% das entidades entrevistadas, essas pessoas são selecionadas com base em sua escolaridade e habilidade em cálculos. Nessas entidades, técnicos, estagiários ou até mesmo engenheiros agrícolas, que possuem bom conhecimento sobre esses equipamentos é que realizam essa tarefa.

É importante salientar que essas entidades possuem um número reduzido de postos e por isso não é tão complicado e oneroso dispor de técnicos para essa atividade. Além disso, uma dessas empresas – SRH/SE – possui apenas pluviômetros automáticos, que simplifica o processo de obtenção dos dados, uma vez que não requer medição e registro da quantidade de chuva. Nestes equipamentos, a medição e o registro são feitos de forma automática, necessitando por parte dos técnicos que as operam apenas a tarefa de transmissão dessas informações, quando não são realizadas on-line, dispensando, por completo, o papel do observador.

Nos outros 60% das entidades entrevistadas, a seleção dos operadores dos equipamentos não é tão criteriosa. Técnicos da entidade escolhem pessoas com quem mantêm bom relacionamento e que acreditam possuir um mínimo de conhecimento

necessário. Muitas vezes essas pessoas são produtores que moram próximo ou que são donos das propriedades onde estão instalados os instrumentos. Em outros casos, quem desempenha a função de coletar e registrar os dados são funcionários ou prestadores de serviço da entidade (operadores de linha, operadores de bomba, vigilante) que têm disponibilidade de tempo ou que moram próximo.

Independente dos critérios de seleção, todas as entidades realizam algum tipo de treinamento com as pessoas escolhidas, passando-lhes instruções sobre o equipamento, a forma de medir e registrar as informações e a periodicidade com que deve ser realizada a tarefa.

Apesar de realizem treinamentos, nenhuma das entidades remuneraram os operadores por realizarem a tarefa específica de coletar os dados pluviométricos. As entidades em que os observadores são técnicos, estagiários ou engenheiros entendem que os mesmos já são remunerados por esta atividade, pois ela faz parte das atribuições dos cargos que os mesmos exercem e pelos quais recebem salário.

Diante destas constatações, é possível compreender porque uma atividade relativamente simples, que consiste basicamente em medir e anotar, em um formulário padrão, fornecido por cada entidade, a quantidade de chuva coletada, possui tantas deficiências. A forma de seleção que nem sempre considera ou prioriza o conhecimento técnico e a não remuneração pelo serviço prestado acabam provocando uma série de problemas na aquisição dos dados.

#### **5.1.4 – PROBLEMAS NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO**

Com relação aos diversos problemas que prejudicam a obtenção dos dados de precipitação, a Tabela 5.5 mostra o percentual de entidades que se vêem atingidas por cada um dos problemas pesquisados.

Tabela 5.5 – Percentual de entrevistados atingidos por problemas no monitoramento dos dados pluviométricos

PROBLEMA	PERCENTUAL DE ENTREVISTADOS
Falha nos equipamentos	40%
Falha no processo de transmissão dos dados	60%
Falha na transcrição dos dados pelo operador	40%

Quanto às causas destes problemas, os entrevistados que disseram ocorrerem falhas nos equipamentos e no processo de transmissão dos dados atribuem os erros ocasionados ao fato de muitas vezes não possuírem equipamentos e dispositivos de boa qualidade e também à falta de manutenção nos mesmos.

Aqueles que apontaram como problema as falhas na transcrição dos dados por parte dos observadores, disseram que em alguns casos este problema é decorrente da falta de conhecimento técnico ou de atenção de determinados operadores. Mas de uma maneira geral, os entrevistados se queixam da falta de comprometimento dos observadores, que acreditam ocorrer em virtude deles não serem remunerados para tal atividade.

Um dos entrevistados relatou casos em que o operador, ao detectar que uma proveta está quebrada, faz a sua substituição por uma simples lata ou uma garrafa *pet* ou outro recipiente qualquer que permita coletar a chuva. E depois não realizam a devida conversão de *ml* para *mm*, fazendo anotações completamente erradas. O que demonstra falta de conhecimento técnico e atenção dos operadores.

As entidades citaram também outros problemas que afetam o monitoramento dos dados pluviométricos, dentre eles o desaparecimento e roubo de equipamentos, a inconstância na leitura das informações e os constantes atrasos no envio dos dados. Estes dois últimos também estão associados, em parte, à falta de comprometimento dos observadores, mas também a outros fatores como número de técnicos insuficiente para recolher os registros, falta de veículo para que os técnicos possam ir *in-loco* buscar as informações, entre outras causas. Um dos entrevistados afirma, ainda, que “o atraso no

envio das informações só acontece nos equipamentos convencionais. Quando os pluviômetros são automáticos, isso não ocorre.”

De fato, não se imagina um equipamento que mede e registra automaticamente a quantidade de precipitação, gerar atraso no envio dos dados coletados. No entanto, é importante salientar que o envio dos dados neste tipo de equipamento depende da tecnologia de transmissão utilizada. Algumas tecnologias permitem transmissão on-line, justificando a afirmativa acima, mas existem tecnologias que não transmitem os dados de forma on-line, sendo necessário que um técnico vá ao local e baixe os dados. Nestes casos, a falta de comprometimento, pessoal e/ou logística, também irá gerar atrasos no envio dos dados. Ao tentar coletar os dados da estação 1822 – Deagro – Boquim, durante a visita realizada ao local, em 08/11/2006, verificou-se que, desde setembro de 2005, o procedimento de coleta das informações monitoradas pela estação não era realizado.

Embora os problemas não sejam exatamente os mesmos em cada uma das entidades pesquisadas, nem mesmo as causas, as conseqüências são quase sempre as mesmas: muitos dados inconsistentes e inúmeras lacunas nas séries históricas de dados pluviométricos monitorados. A ocorrência desses erros nas séries históricas, por sua vez, varia bastante em decorrência do equipamento que produz a série e do observador responsável. Algumas séries apresentam poucos erros dessa natureza, enquanto outras estão altamente comprometidas.

A pesquisa também revela que alguns dos entrevistados têm absoluta consciência de que esses erros interferem no trabalho que a entidade realiza. A SRH/SE e o DEAGRO entendem que a não verificação ou os equívocos na observação do fenômeno chuva, faz com que as entidades, que repassam as informações coletadas a outros órgão, divulgem informações não confiáveis e que podem comprometer as atividades dos que dependem desses dados.

O representante do DEHIDRO relata que estes erros dificultam muito a realização dos trabalhos da empresa, no que se refere ao manejo da irrigação, pois a quantidade de chuva é uma informação indispensável para efetuar o balanço hídrico. “Conhecendo a entrada de água e a saída, é possível calcular quanto as plantas precisam de água, portanto,

se o valor de entrada está errado, a quantidade de água a ser utilizada para irrigação também estará errada”. Ou seja, estes erros afetam diretamente a eficiência do trabalho da empresa.

A EMBRAPA e a CODEVASF não informaram como as inconsistências e ausências de dados podem afetar os trabalhos da entidade, embora também sejam atingidos por tais problemas.

Quando questionados sobre o que poderia ser feito para minimizar os problemas mais comuns que ocorrem no processo de monitoramento dos dados pluviométricos, os entrevistados parecem concordar que são necessários maior apoio institucional, maior comprometimento dos responsáveis pela atividade e, principalmente, mais investimentos para aquisição de novos equipamentos e para manutenção dos já existentes.

Além destas sugestões apontadas pelos entrevistados, é extremamente necessário que sejam feitos investimentos no sentido de capacitar continuamente todas as pessoas envolvidas no processo de monitoramento dos dados pluviométricos, desde as que coletam, *in-loco*, as informações até os chefes dos setores responsáveis por esta atividade, pois através desta pesquisa foi possível verificar que alguns entrevistados desconhecem aspectos técnicos de seus postos e como estes aspectos influem na obtenção de uma informação de qualidade. Além disso, é importante ressaltar que os constantes avanços tecnológicos permitem o surgimento, em curtos prazos, de novos equipamentos, tecnologias de transmissão, programas e métodos de tratamento dos dados que exigem treinamento de seus usuários.

### **5.1.5 – TRATAMENTO, PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS**

Ao chegarem às entidades, os dados pluviométricos deveriam passar por algum tipo de tratamento para ser analisada a sua consistência ou por algum mecanismo para preenchimento de falhas, nos casos de dias em que há ausência de registro, antes de serem processados (utilizados). Mas, a pesquisa mostra que nem todas as empresas realizam estes tipos de procedimentos. De uma maneira geral, todas fazem uma análise de consistência visual, verificando se o valor registrado está dentro dos limites aceitáveis.

No entanto, quando questionados sobre quais são os padrões (limites) de dados aceitáveis, apenas a SRH/SE soube precisar. Segundo o responsável por esta entidade, “os limites são proporcionais à climatologia. No Litoral, a precipitação anual varia entre 1500 a 1200 mm; no Agreste, varia de 1200 mm a 700 mm; e no Semi-árido, de 700 a 500 mm, sendo que estes valores estão divididos de forma não igualitária pelas estações chuvosa e de estiagem. Cerca de 70% dessa média anual ocorre na estação chuvosa, período que vai do mês de abril a agosto e 30% ocorre no período de estiagem, que ocorre entre os meses de setembro e março”. Conhecendo estes limites, já é possível detectar possíveis anomalias (disparidade), que podem ser corrigidas através de nova consulta à origem (fonte dos dados) ou estatisticamente. O responsável por estes dados na SRH/SE afirma ainda que, depois dessa análise visual é feita uma interpolação dos dados num *software* chamado GRADES afim de verificar se há ilhas de anomalias. Caso haja, o próprio *software* faz o ajuste do dado, sendo este processo denominado de Homogeneização dos Dados.

A EMBRAPA informou que os padrões de dados pluviométricos que a entidade utiliza seguem normas da OMM e a análise de consistência dos mesmos é feita utilizando-se o método de Dupla Massa e alguns outros modelos de estimativa.

Os representantes das demais entidades não souberam informar os limites de dados aceitáveis, mas procedem algum tipo de análise de consistência dos dados. O DEHIDRO informou que fazia uma correlação com outras variáveis climáticas como umidade relativa e temperatura, que podem apontar a possibilidade de um erro. Caso fosse verificada a inconsistência de um dado, um responsável da entidade retornava a ligação para o observador a fim de confirmar o dado. Este era o procedimento anteriormente adotado na DEHIDRO. Atualmente a entidade não está realizando nenhum mecanismo contra inconsistência de informações. No DEAGRO, a análise visual toma como base os registros históricos, comparando o valor coletado com a média do período em anos anteriores. Caso seja detectada a existência de um dado inconsistente, não tem uma regra que determine o que fazer, ou calcula-se um valor médio envolvendo registros anteriores, ou simplesmente descarta-se o valor diagnosticado como incorreto, gerando uma lacuna na série histórica. A CODEVASF embora afirme realizar uma análise de consistência, não informou os métodos ou técnicas utilizados.

Quanto a este problema das lacunas (ausências de registro) nas séries históricas de dados, a medida adotada pelo DEAGRO é similar à adotada quando é percebida uma inconsistência, um responsável liga para o observador para confirmar se realmente não houve registro e verificar a razão da falta, caso ratificada a ausência do dado. O DEHIDRO não utiliza atualmente nenhum método para preenchimento de falhas, mas o entrevistado afirmou que já foi utilizado um programa para esta finalidade, porém não soube informar qual era o programa, nem como ele realizava esta operação. Na SRH/SE, o preenchimento das falhas também é realizado por programas especializados. Na EMBRAPA, utiliza-se a técnica da triangulação. E a CODEVASF, embora afirmasse realizar algum procedimento de preenchimento de falhas não especificou qual.

Após passarem pelos procedimentos de tratamentos de dados acima descritos, os dados são geralmente publicados em boletins específicos divulgados em outras entidades ou na comunidade em geral, a depender dos usuários de cada entidade, ou são processados no intuito de gerar outras informações, como no caso dos cálculos de balanço hídrico.

Quanto ao armazenamento, pode-se afirmar que os dados são guardados localmente, ou seja, cada entidade mantém os dados monitorados em seus postos em arquivos locais, em geral, de planilhas eletrônicas. A SRH/SE utiliza em alguns casos o software Excel da Microsoft ou o Surfer. Todas as demais entidades afirmaram também utilizar o Excel, sendo que a DEHIDRO não tem todos os dados digitalizados. Muitos ainda estão em papel e uma funcionária está passando aos poucos para o Excel. No momento, a entidade só possui digitalizados os dados até o ano de 2005. Embora utilizem o mesmo programa, existem muitas diferenças na formatação das planilhas e na composição dos dados nela existentes.

Diante de tudo que foi exposto, é possível confirmar que os dados pluviométricos constituem uma informação extremamente importante para a gestão dos recursos hídricos. No entanto, as séries históricas de dados pluviométricos disponíveis no Estado, além de serem afetadas por muitos problemas no processo de monitoramento, não formam uma rede de informações pluviométricas e não são facilmente acessíveis.

Tanto os dados pluviométricos monitorados quanto as informações técnicas acerca dos 123 postos de coleta de dados pluviométricos, distribuídos ao longo do Estado, pertencentes a diferentes entidades, assim como os dados monitorados em cada um deles, deveriam integrar uma base de dados única que, por sua vez deve integrar o Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos.

Esta base de dados deve ser, preferencialmente, georreferenciada, permitindo ao usuário, ao clicar no ponto onde há um posto pluviométrico, ter acesso a características do equipamento (tipo, modelo, localização, situação, início da série, etc.) e a série histórica dos dados pluviométricos monitorados naquele ponto. E deve estar disponível, através de uma interface amigável, não apenas para as entidades geradoras de tais dados, mas para todos os demais órgãos federais, estaduais, municipais, empresas privadas e comunidade em geral que necessitem destas informações. Porém, esta talvez seja a mais difícil das tarefas que precisam ser realizadas para composição da rede pluviométrica, pois os dados que atualmente estão arquivados localmente em cada uma das entidades responsáveis não seguem um padrão de formatação, estão armazenados em diferentes softwares de planilhas eletrônicas e alguns não se encontram nem mesmo digitalizados, sendo arquivados em papel, o que dificulta muito a migração dos dados para um banco de dados único e consistente.

Em se tratando de consistência, outra coisa que também precisaria seguir um mesmo padrão são os métodos e técnicas utilizadas para a análise de consistência e preenchimento de falhas das séries históricas. Para isto, as entidades envolvidas deveriam analisar os métodos existentes a fim de verificar e adotar aquele que produza os melhores resultados e, conseqüentemente, uma série histórica confiável.

Segundo a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, o órgão gestor dos recursos hídricos do Estado de Sergipe deve ser a SRH/SE, cabendo a ele a custódia de diversas informações que devem subsidiar a gestão de tais recursos. Dentre essas informações, estão os dados pluviométricos. Portanto, o gerenciamento de uma rede pluviométrica é, em conformidade com a legislação em vigor, de responsabilidade da SRH/SE, da mesma forma que a custódia das informações referentes aos recursos hídricos das bacias federais, integradas às das bacias estaduais, é de

responsabilidade da ANA – Agência Nacional de Águas. No entanto, como a rede pluviométrica estadual não está interligada, a ANA possui, do Estado de Sergipe, apenas informações dos equipamentos pluviométricos pertencentes aos órgãos federais, como mostra a listagem dos postos pluviométricos do país, disponível no site do órgão – [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br), que também não parece estar atualizada, haja vista considerar postos da SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, que após sua extinção, teve a maioria de seus equipamentos repassados para outros órgãos.

Apesar das dificuldades de se implementar um base de dados única, todos os envolvidos nesta pesquisa concordam que a interligação dos dados pluviométricos formando a rede pluviométrica do Estado é imprescindível, pois trará inúmeros benefícios aos usuários desses dados.

Um desses benefícios é que, com uma única base de dados integrando os dados oriundos de diferentes entidades, a necessidade de aquisição de novos equipamentos em cada uma delas tende a diminuir. Se uma determinada entidade não possuir um posto em certa região onde a precipitação precisa ser monitorada, mas outra entidade o possuir, esta primeira entidade não precisará necessariamente adquirir um novo equipamento e poderá utilizar os dados monitorados por esta segunda entidade. Isto implica numa redução dos investimentos financeiros necessários para compra dos instrumentos e com os operadores.

Esta utilização de dados monitorados por uma outra entidade em parte já ocorre. Atualmente, algumas entidades, ao necessitarem de uma informação solicitam dados de outra entidade. No entanto, algumas vezes suas solicitações não são atendidas ou as respostas são demoradas. Estes fatos certamente não ocorreriam se existisse esta base de dados única e de fácil acesso.

A alimentação (fornecimento) das informações nesta base de dados deve ser feita pela entidade responsável pela informação, sendo realizada uma única vez, o que resolve um outro problema detectado nesta pesquisa. Para atender a sua demanda, a SRH/SE consulta diariamente dados de 55 postos da DEAGRO. E esta, por sua vez, faz consulta aos seus 80 postos, atualmente em operação, a cada 15 dias, incluindo os 55, dos quais a SRH/SE já possui as informações.

Vale frisar que, para que a rede de informações pluviométricas do Estado seja estruturada de forma a obter os benefícios acima, é preciso não apenas investimento por parte do governo, mas também um forte apoio institucional de cada entidade participante. Antes de pensar em integrar os dados, é necessário que haja uma maior integração das pessoas e entidades envolvidas no processo de monitoramento dos dados pluviométricos do Estado. É preciso voltar as atenções para esta causa, somar esforços para vencer as dificuldades e ajudar a realizar este projeto de criação da rede de informações pluviométricas, afinal todas as entidades serão beneficiadas com isto, assim como a sociedade em geral.

Acontece que, como foi mencionado por um dos entrevistados, as entidades que monitoram os dados pluviométricos no Estado de Sergipe são intermediárias entre o interesse do governo, que não dá apoio necessário à realização deste trabalho, pois se trata de “uma obra que não dá voto”, e as necessidades dos usuários que, na grande maioria, são outros órgãos públicos ou produtores rurais que muitas vezes desconhecem a real importância da informação sobre a quantidade de precipitação. A falta de incentivo do governo e a deficiência no conhecimento dos usuários acabam gerando uma certa falta de motivação e até um descomprometimento dos técnicos destas entidades.

Por isso, antes de qualquer medida é imprescindível que todas as pessoas tomem consciência da vital importância social e econômica do recurso água e compreendam a necessidade de se conhecer o comportamento do elemento precipitação como principal entrada de água no ciclo hidrológico, pois os dados pluviométricos constituem uma das informações mais importantes para uma gestão eficiente dos recursos hídricos, e conseqüentemente, para alcançar o desenvolvimento sustentável do Estado, garantindo a disponibilidade com qualidade deste tipo de recurso para as gerações presente e futura.

## 5.2 – APLICAÇÃO DAS REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS

Para cada um dos experimentos realizados, foram realizados 12 testes, ou seja, o arquivo utilizado para testar a rede, após o seu treinamento, verificou o desempenho da mesma em 12 situações – em Maio, Junho, Julho e Agosto dos anos de 1985, 1979, 2002, que representam, respectivamente, um ano com volume de chuva considerado dentro da normalidade, um ano com pouca chuva (com um acentuado período de seca) e um ano bastante chuvoso (com volume de chuva acima do esperado).

Os subitens 5.2.1, 5.2.2 e 5.2.3 a seguir descrevem e ilustram os resultados dos testes realizados para os meses de Junho e Agosto nos três anos – 1985, 1979 e 2002, ou seja, cada subitem expõe 50% dos testes realizados. Os demais gráficos, de Maio e Julho destes mesmos anos, encontram-se expostos no anexo E.

### 5.2.1 – EXPERIMENTO 01

Durante o processo de aprendizado da rede, o Gráfico de Erro mostrou um grande declínio, estabilizando em 2 (dois). Embora o ideal fosse atingir ou aproximar-se do valor 0 (zero), mostrando que a rede estava convergindo, isto é, que conseguiu aprender, a taxa obtida no experimento não comprometeu tanto o resultado da rede. Neste experimento, a rede acertou a categoria em 83,3% dos casos testados, como mostram os gráficos 5.3 a 5.8.

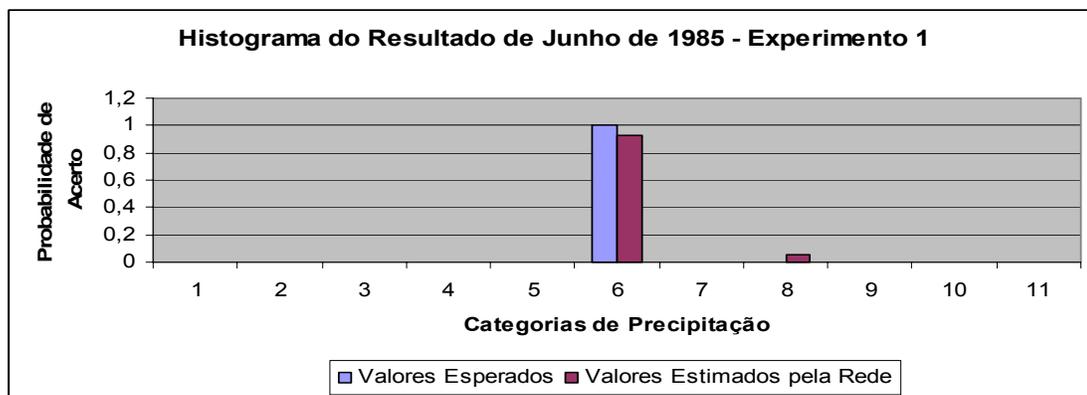


Figura 5.3 – Resultado de Junho de 1985 obtido com o experimento 01.

O gráfico de Junho de 1985 (Figura 5.3), mostra que a rede apontou alguma probabilidade do volume de chuva do referido mês/ano estar na categoria 8, mas com uma probabilidade de acerto muito pequena. A rede indicou maior probabilidade para a categoria 6, acertando o resultado.

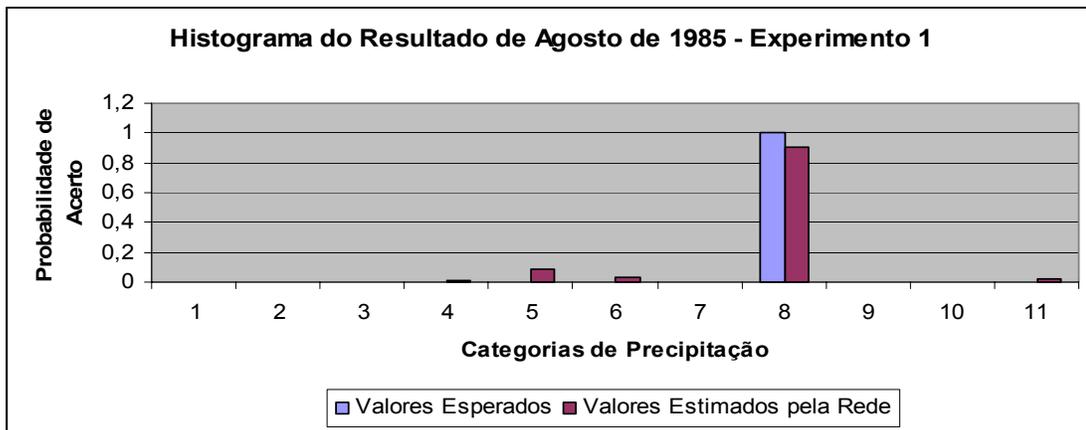


Figura 5.4 – Resultado de Agosto de 1985 obtido com o experimento 01.

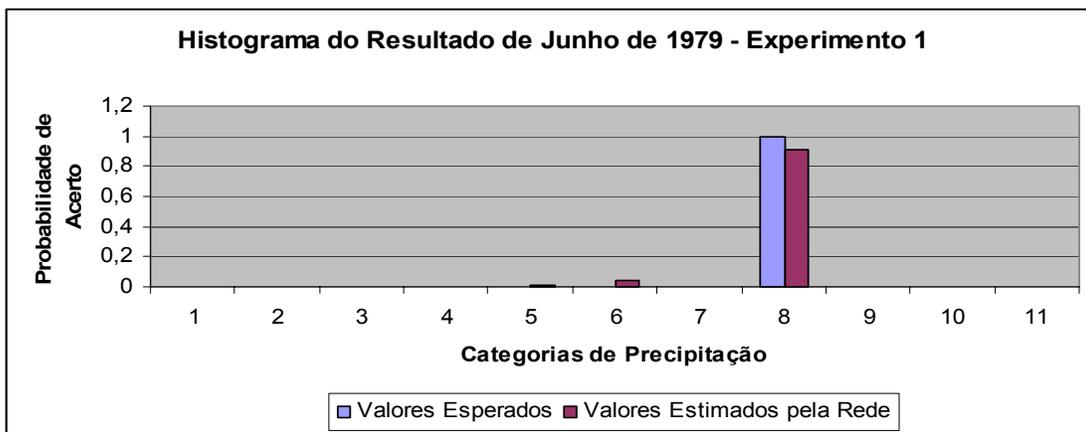


Figura 5.5 – Resultado de Junho de 1979 obtido com o experimento 01.

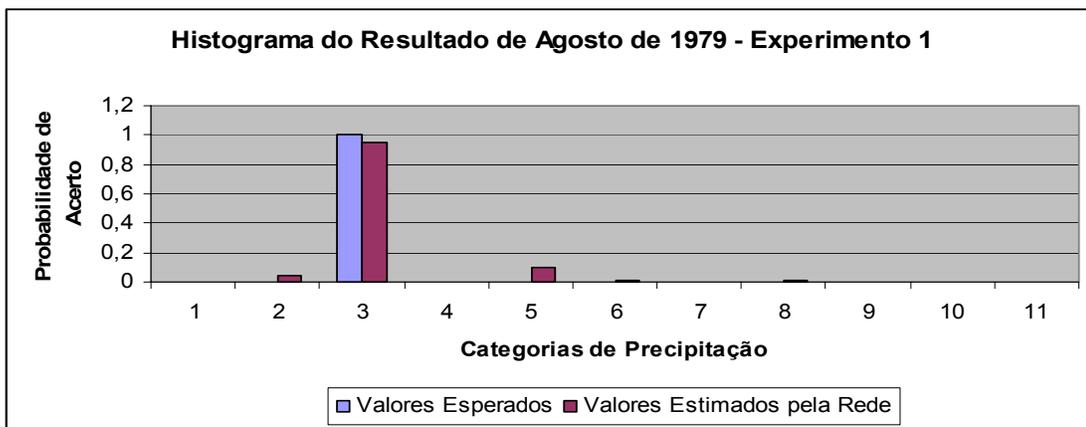


Figura 5.6 – Resultado de Agosto de 1979 obtido com o experimento 01

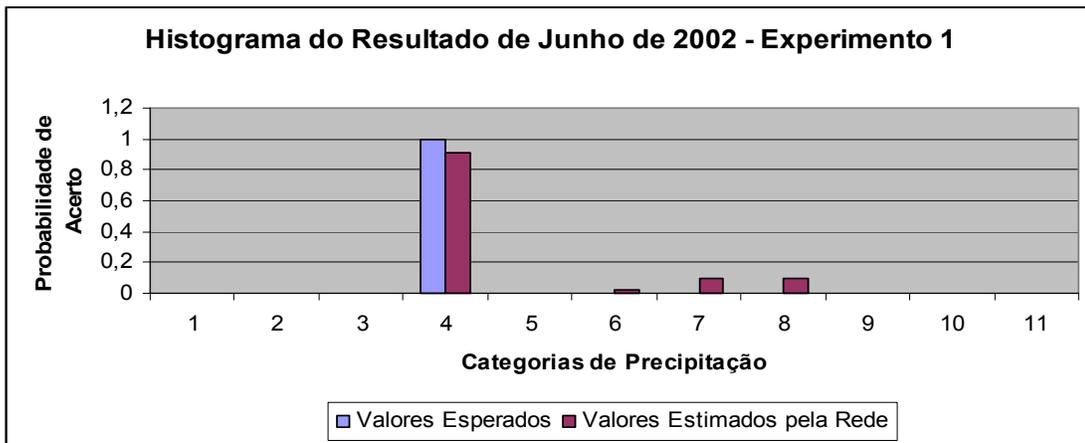


Figura 5.7 – Resultado de Junho de 2002 obtido com o experimento 01.

Os gráficos das Figuras 5.4 a 5.7 também demonstram que a rede apontou grande probabilidade de acerto na categoria correta, ou seja, indicou o resultado esperado, mesmo tendo apontado pequenas probabilidades para outras categorias, mas nada significativa.

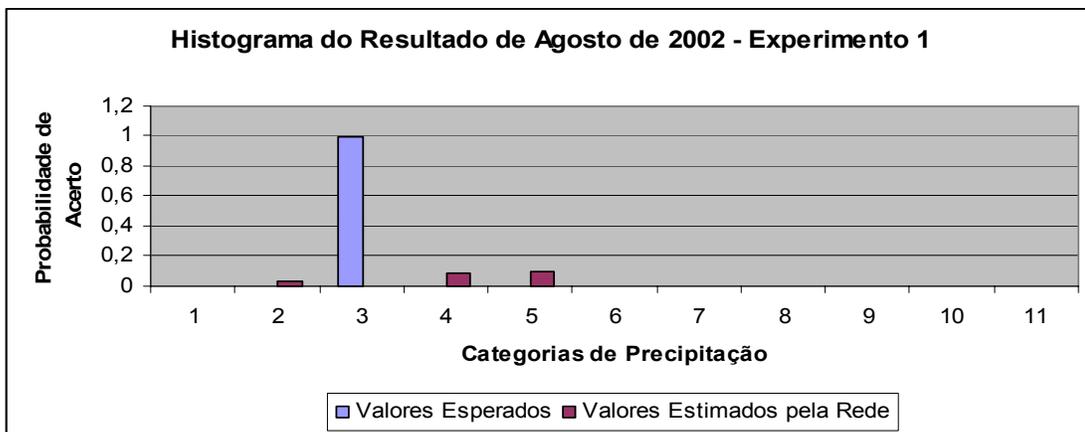


Figura 5.8 – Resultado de Agosto de 2002 obtido com o experimento 01.

O gráfico de Agosto de 2002 (Figura 5.8) representa um dos dois casos em que a rede errou o resultado da categoria. A rede aponta pequenas, mas não expressivas, probabilidades do volume de chuva pesquisado estar em outras categorias diferentes da esperada.

**5.2.2 – EXPERIMENTO 02**

Durante a realização do treinamento da rede criada no experimento 02, o Gráfico de Erro mostrou a menor taxa de erro dentre os experimentos realizados, com valor abaixo de 1, mostrando um bom aprendizado da rede. No entanto, o resultado foi inferior ao obtido no experimento 01. Dentre os testes apresentados, a rede acertou a categoria em 75% dos casos, como mostram os gráficos ilustrados nas Figuras 5.9 a 5.14, permitindo concluir que o aumento de neurônios na camada intermediária da rede permitiu melhor aprendizado, mas não o alcance de melhores resultados.

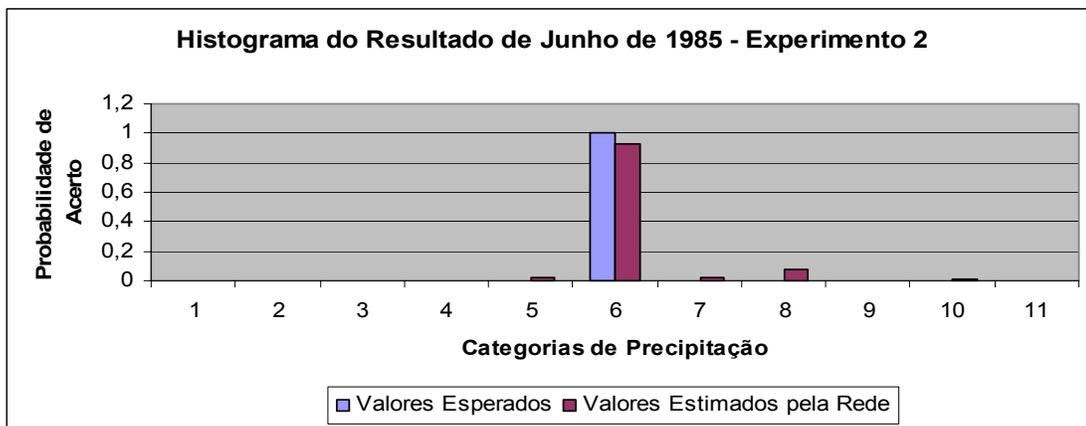


Figura 5.9 – Resultado de Junho de 1985 obtido com o experimento 02.

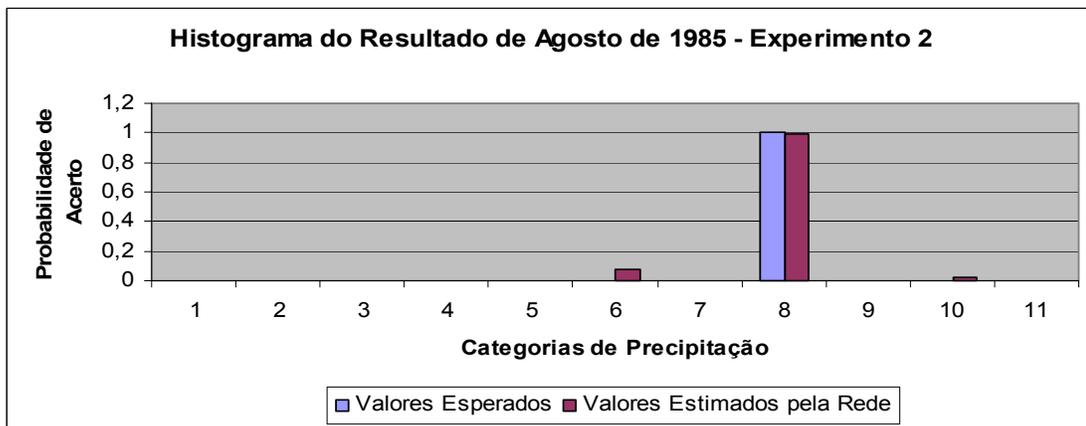


Figura 5.10 – Resultado de Agosto de 1985 obtido com o experimento 02.

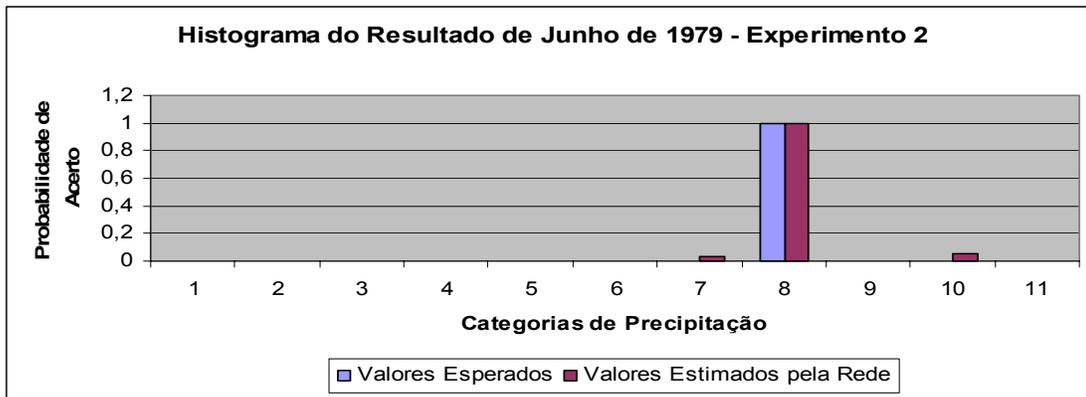


Figura 5.11 – Resultado de Junho de 1979 obtido com o experimento 02.

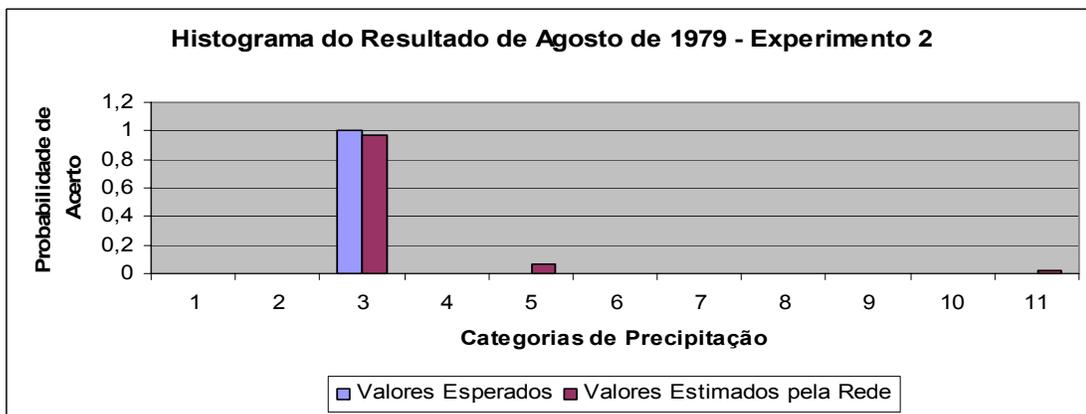


Figura 5.12 – Resultado de Agosto de 1979 obtido com o experimento 02.

Os gráficos ilustrados nas Figuras 5.9 a 5.12 mostram que a rede indicou a categoria correta com grandes probabilidades de acerto. Já as Figuras 5.13 e 5.14 mostram que a rede ficou em dúvida entre algumas categorias, apontando pequenas probabilidades para 3 ou 4 categorias diferentes, mas nenhuma delas era a correta (esperada).

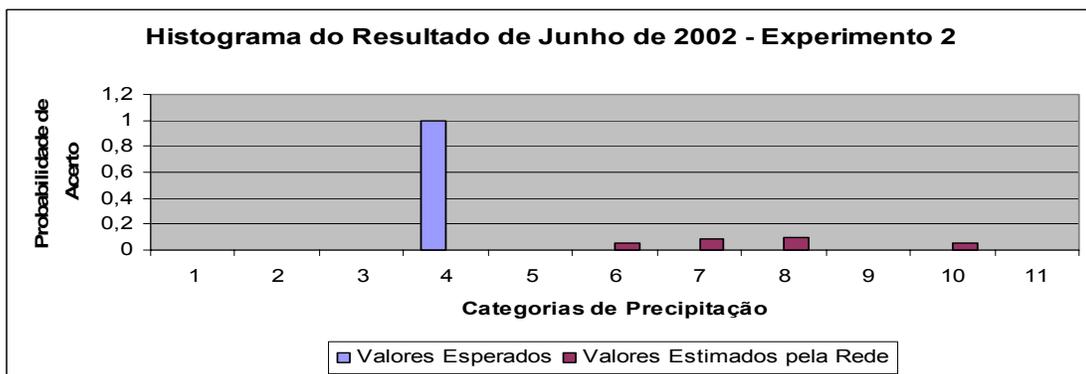


Figura 5.13 – Resultado de Junho de 2002 obtido com o experimento 02.

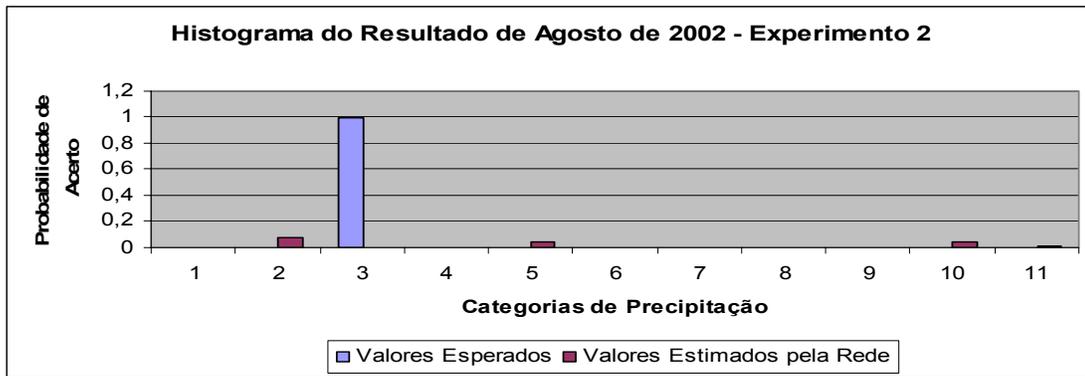


Figura 5.14 – Resultado de Agosto de 2002 obtido com o experimento 02.

### 5.2.2 – EXPERIMENTO 03

Durante a realização do treinamento da rede criada no experimento 03, o Gráfico de Erro mostrou uma taxa de erro relativamente alta, em torno de 10, mostrando que a rede não atingiu um bom aprendizado, e os resultados obtidos comprovam isto. Dentre os testes apresentados à rede, houve apenas 33,3% de acerto, mostrando que o aumento do número de camadas intermediárias na rede não favoreceu melhores resultados. A maior complexidade da estrutura da rede prejudicou seu aprendizado.

Os gráficos ilustrados nas Figuras 5.15 a 5.20 mostram que a rede acertou apenas as categorias correspondentes aos volumes de chuva de Agosto de 1985 e de Junho de 1979, mesmo assim sem indicar grandes probabilidades de acerto. Nos demais casos, a rede também ficou em dúvida praticamente em todas as categorias e aponta uma probabilidade um pouco maior para a categoria errada.

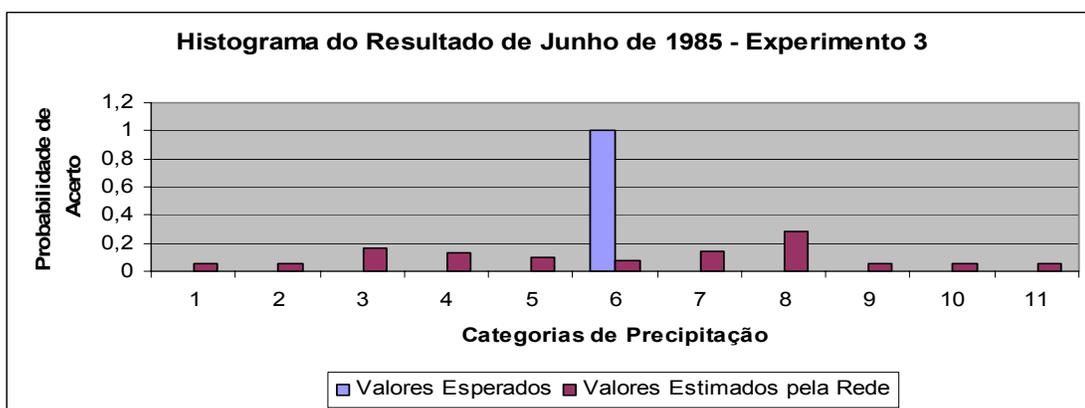


Figura 5.15 – Resultado de Junho de 1985 obtido com o experimento 03.

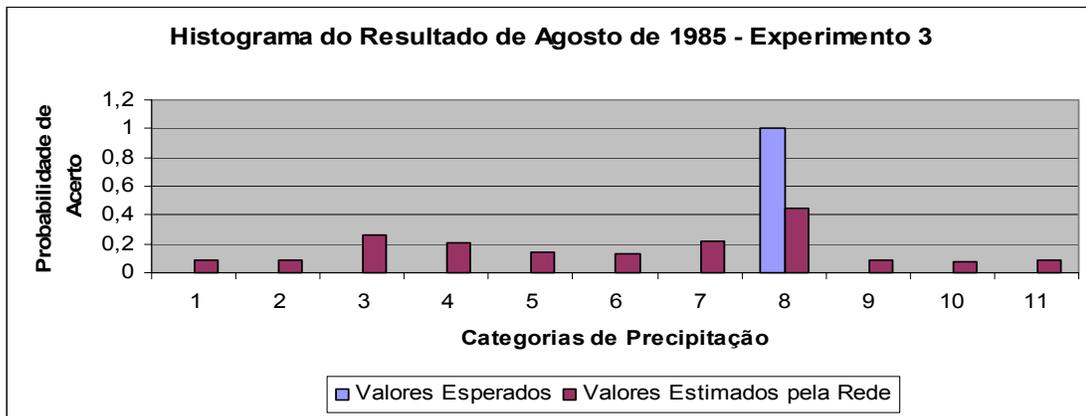


Figura 5.16 – Resultado de Agosto de 1985 obtido com o experimento 03.

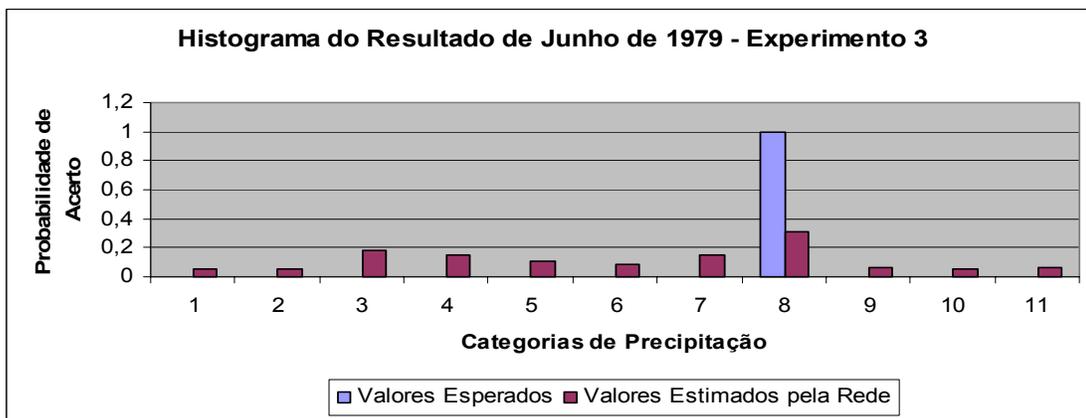


Figura 5.17 – Resultado de Junho de 1979 obtido com o experimento 03.

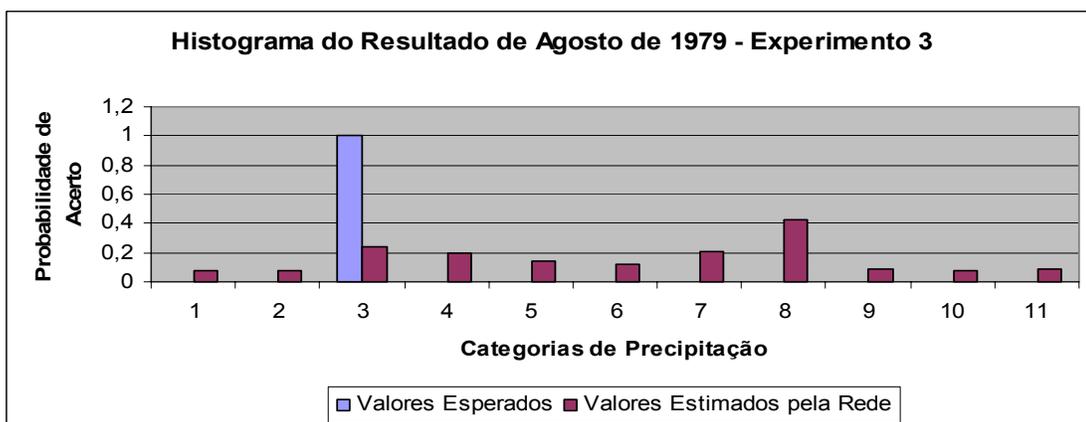


Figura 5.18 – Resultado de Agosto de 1979 obtido com o experimento 03.

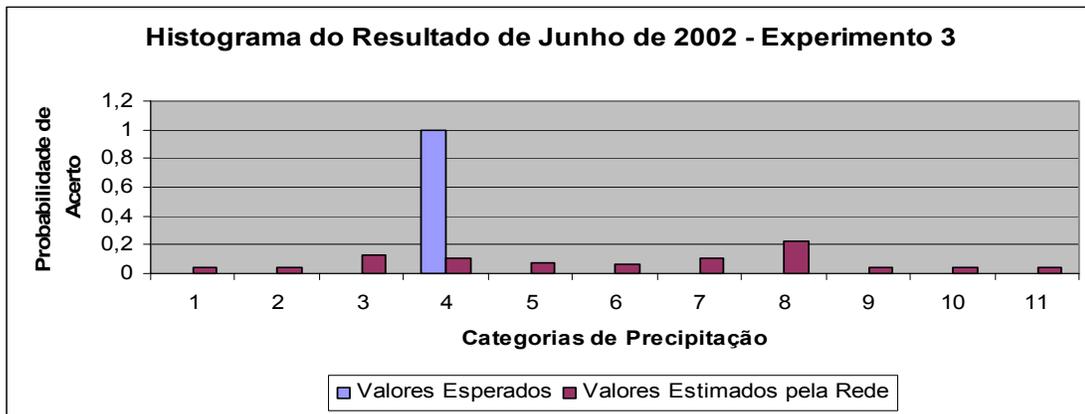


Figura 5.19 – Resultado de Junho de 2002 obtido com o experimento 03.

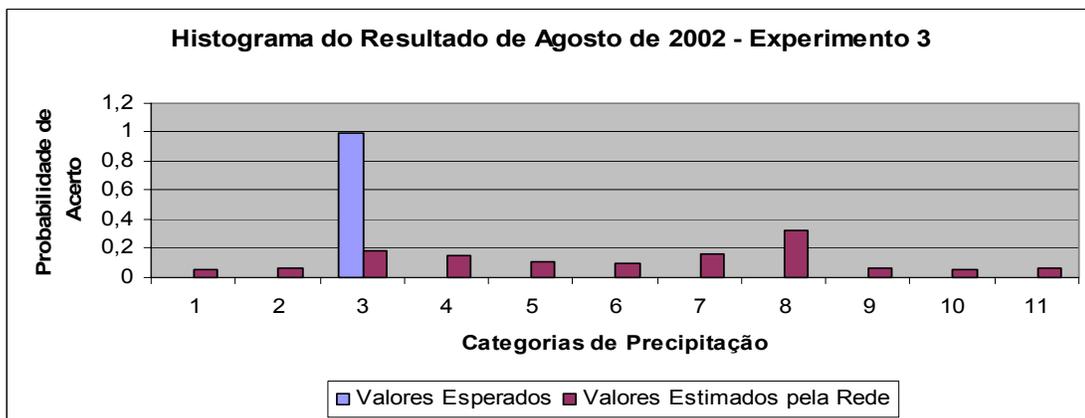


Figura 5.20 – Resultado de Agosto de 2002 obtido com o experimento 03.

Dentre os experimentos realizados, o experimento 01 apresentou os melhores resultados, mostrando que, em se tratando da arquitetura da rede a ser utilizada para a finalidade em questão, o aumento do número de camadas intermediárias e o aumento de neurônios não propiciaram melhores resultados.

A dificuldade de obter maior precisão no resultado provém, principalmente, da grande irregularidade do regime pluviométrico do Estado de Sergipe. Através dos experimentos, é possível observar, por exemplo, que em Agosto de 2002 – um ano considerado atípico, com volumes de chuva acima do esperado em praticamente todo o Estado – a distribuição da precipitação é bastante irregular, mesmo em regiões circunvizinhas como as que foram utilizadas neste estudo e, talvez, por isso a rede não tenha conseguido acertar a categoria deste período em nenhum dos experimentos.

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

## **6 – CONCLUSÕES E SUGESTÕES**

### **6.1 – CONCLUSÕES**

Este trabalho permite concluir, que não existe de fato uma rede pluviométrica no Estado de Sergipe, ou seja, as informações técnicas acerca dos equipamentos que monitoram precipitação e os dados pluviométricos em si não integram uma mesma base de dados. Diante disso, o órgão gestor dos recursos hídricos no Estado – SRH/SE, as demais entidades públicas, as empresa privadas e a comunidade em geral enfrentam maiores dificuldades para desenvolver programas e projetos que utilizem tais dados como subsídio para o desenvolvimento sustentável da região. A caracterização da rede pluviométrica, produto desta pesquisa, constitui um primeiro passo na implementação da base de dados única aqui proposta.

Além disso, a pesquisa revela a necessidade de reestruturação da rede de postos existente no Estado, no que diz respeito à modernização dos equipamentos e melhor distribuição dos mesmos, o que permitiria maior cobertura e a aquisição de dados mais confiáveis com maior agilidade.

Quanto ao estudo da aplicabilidade das Redes Neurais Artificiais no preenchimento de falhas nas séries históricas de dados pluviométricos, a pesquisa permite concluir que o uso desta técnica da Inteligência Artificial pode ser apropriado para solução do problema.

O experimento 01 mostra que, apesar da grande irregularidade observada nas séries históricas de dados pluviométricos, a rede consegue atingir taxa de aprendizagem boa e produzir bons resultados. No entanto, é importante ressaltar que, antes da aplicação das redes neurais, os dados devem passar por um pré-processamento, ou seja, precisam ser explorados ao máximo na tentativa de extrair parâmetros que possam, posteriormente, ser passados para a rede a fim de que esta produza um resultado com um nível de precisão maior.

As redes neurais devem ser usadas após esgotar-se a aplicação de ferramentas clássicas – modelos matemáticos e estatísticos mais simples, como a Interpolação Linear

Espacial que é comumente utilizada para calcular níveis de lençóis freáticos. Ou seja, as redes neurais devem ser utilizadas quando modelos mais simples não forem suficientes para solucionar o problema ou quando o modelo se apresenta muito complicado.

## 6.2 – SUGESTÕES

Este trabalho de pesquisa permite algumas variações e complementos que poderão ser objetos de pesquisas futuras que possam minimizar a ocorrência de erros nas séries históricas de dados pluviométricos e disponibilizar ao público em geral informações mais confiáveis acerca não apenas do volume de precipitação, mas também de outras variáveis climatológicas que venham a subsidiar processos de gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos, favorecendo o desenvolvimento sustentável da região.

Algumas dessas pesquisas futuras podem incluir em seus objetivos algumas das sugestões abaixo:

- Implementação de um Banco de Dados Georreferenciado com informações técnicas dos postos pluviométricos e dos dados monitorados pelos mesmos e a futura ampliação deste banco, passando a incorporar também outras variáveis hidro e agrometeorológicas;
- Avaliação da aplicabilidade das Redes Neurais Artificiais no tratamento dos dados pluviométricos no que diz respeito à análise de consistência dos dados;
- Desenvolvimento de outros experimentos com as redes neurais para o preenchimento de falhas nas séries históricas, no intuito de testar outros conjuntos de variáveis que influenciam na ocorrência de precipitação, testar outras funções de ativação, testar intervalos menores de categorias, etc.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AG SOLVE – Monitoramento Ambiental. Estações Pluviométricas. [www.agsolve.com.br/htm/produtos/weat/pluvio.php](http://www.agsolve.com.br/htm/produtos/weat/pluvio.php) Acesso em 12 Out. 2006.

AMARAL, M. (Presidente EPAMIG). *Sustentabilidade: o desafio da pesquisa*. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.21, n.202, jan/fev 2000.

BRAGA, A. P.; CARVALHO, A. P. F. L. & LUDEMIR, T. B. *Redes Neurais Artificiais – Teoria e Aplicações*. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos, 2000.

BRASIL. Constituição (1988). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília/DF: Senado Federal.

BURZTYN, M.. *Para pensar o desenvolvimento sustentável*. 1ª edição. Editora Brasiliense. São Paulo. 1993.

CAIDEN, G.; CARAVANTES, G.. *Reconsideração do Conceito de Desenvolvimento*. 1ª edição. Ed. EDUCS (Editora da Universidade de Caxias do Sul). 1988.

CAMARGO, A. L. B. *Desenvolvimento Sustentável – dimensões e desafios*. Campinas, SP: Papirus, 2003.

CARDOSO, H. E. A.; MANTOVANI, E. C. & COSTA, L. C. *As Águas na Agricultura*. In: Agroanalysis. Instituto Brasileiro de Economia. Centro de Estudos Agrícolas. Rio de Janeiro, RJ, v. 19, n. 3, p.27-28, 1998.

CATALUNHA, M. J.; SEDIYAMA, G. C.; LEAL, B. G. & SOARES, C. P. B. *Avaliação de quatro modelos matemáticos para a solução numérica da Função Mista*. In: Revista Brasileira de Agrometeorologia. Santa Maria, RS, v.10, n. 1, p. 163-166, 2002.

CERA, M. C. *Redes Neurais no Reconhecimento de Padrões: Estudo de Caso*. [www.inf.ufrgs.br/procpar/disc/cmp135/prog/aec.html](http://www.inf.ufrgs.br/procpar/disc/cmp135/prog/aec.html) Acesso em 09 Set. 2006.

CERVO, A. L. & BERVIAN, P. A. *Metodologia científica*. 4ª edição. São Paulo, SP: Makron Books, 1996.

COIMBRA, R. *Plano Nacional de Recursos Hídricos*. [http://scni-aplic01.cni.org.br/empauta/hidrovia/Roberto\\_Coimbra.pdf](http://scni-aplic01.cni.org.br/empauta/hidrovia/Roberto_Coimbra.pdf) Acesso em 08 Dez. 2006

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. *Nosso futuro comum*. Ed. Fundação Getúlio Vargas. 2ª Edição, 1991.

ENSLEY, D. & NELSON, D. E, *Extrapolation of Mackey-Glass Data Using Cascade Correlation*. *Simulation*, v. 58, n. 5, p.333-339, May 1992.

FERREIRA, A. B. H. *Dicionário Aurélio Eletrônico*. Versão 2.0. Nova Fronteira, 1996.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 5ª edição. São Paulo, SP: Atlas, 1999.

GODOY, A. S. *Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades*. São Paulo, SP: Revista de Administração de Empresas, v.35, n. 2, p.57-63, 1995.

HAYKIN, S. *Redes Neurais - Princípios e Prática*. Tradução: Paulo Martins Engel. 2ª Edição. Porto Alegre, RS: Editora Bookman, 2001.

HSU, K.; SOROOSHIAN, S.; GAO, X. & GUPTA, H. V. *Rainfall Estimation from Satellite Infrared Imagery using Artificial Neural Networks*. Technical Report, HWR No.97010. Published by Department of Hydrology and Water Resources, University of Arizona, 1997.

INFORME AGROPECUÁRIO. *Conservação do Solo*. Belo Horizonte, v.16, n.176, p.21, 1992.

LAKATOS, E. M. & MARCONI, M. A. *Fundamentos de metodologia científica*. 3ª edição. São Paulo, SP: Atlas, 1991.

LIMA, J. B. *O Paradoxo da Água*. Veja. Edição 1926 – ano 38 - nº 41, p. 89-92, 2005.

MAGINA, F. C. *Sensor de Precipitação ou Pluviômetro*. [www.cptec.inpe.br/marsp/sensores.shtml](http://www.cptec.inpe.br/marsp/sensores.shtml) Acesso em 03 Nov. 2006

MANTOVANI, E. C., CARDOSO, H. E. A. & COSTA, L. C. *As águas da agricultura*. In: Agroanalysis. Instituto Brasileiro de Economia / Centro de Estudos Agrícolas. Rio de Janeiro/RJ, 1998.

MEADOWS, D. L.; MEADOWS, D. H.; RANDERS, J. & BEHRENS, W. W. *Limites do crescimento- um relatório para o Projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade*. São Paulo, SP: Ed. Perspectiva, 1972.

NEIMAN, Z. *Meio Ambiente: educação e Ecoturismo*. Barueri, São Paulo. Manole. 2002.

NETTO, L. F. *Meteorologia*. [www.feiradeciencias.com.br/sala02/02\\_0m0.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala02/02_0m0.asp) Acesso em 10 nov. 2006.

NEVES, J. & CORTEZ, P. *An Artificial Neural Network – Genetic Based Approach for Time Series Forecasting*. In: IV Brazilian Symposium on Neural Networks (SBNR 1997), IEEE - Institute of Electrical and Electronic Engineers, 1997. p.p. 9-13.

PALMA NETO, L. G. & NICOLETTI, M. C. *Introdução às Redes Neurais Construtivas*. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2005.

PESSOA, J. D. C., FREIRE, L. *Predição de Temperatura e Precipitação da Base de Dados de Estação Agrometeorológica da ESALQ - Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz - Usando Redes Neurais*. In: SBRN, V Simpósio Brasileiro de Redes Neurais. Anais... Sociedade Brasileira de Computação, Belo Horizonte, MG, Vol. 2, p.p. 269-272, 1998.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C.; MARTINS, J. A. & GOMIDE, F. L. S. *Hidrologia Básica*. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1976.

REZENDE, S. O. (coordenadora). *Sistemas Inteligentes – Fundamentos e Aplicações*. Barueri, SP: Manole, 2003.

ROMEIRO, A. R. *Agricultura Sustentável, tecnologia e desenvolvimento*. Revista Agricultura Sustentável – Jaguariúma, v.3, n.1/2, Jan/Dez. 1996.

RUMELHART, D. E., HILTON, G. E., WILLIAMS, R. J. *Learning Representations by Back-Propagation Error*. Nature, 1986.

SALASSIER, B. *Manual de Irrigação*. Viçosa, MG: Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1995.

SANTOS, J. R. M. *Irigar é Preciso*. In: Agroanalysis. Instituto Brasileiro de Economia. Centro de Estudos Agrícolas. Rio de Janeiro, RJ, v. 19, n. 3, p.29-34, 1998.

SENTELHAS, P. C. & CARAMORI, P. H. *Inconsistências na medida da chuva com pluviômetros de báscula, utilizados em estações meteorológicas automáticas*. In: Revista Brasileira de Agrometeorologia. Santa Maria, RS, v.10, n.2, p. 301-304, 2002.

SILVA, A. F. *Previsão da Evapotranspiração de Referência utilizando Redes Neurais*. Viçosa, MG. 2002.

SILVA, J. C.; HELDWEIN, A. B.; MARTINS, F. M.; TRENTIN, G. & GRIMM, E. L. *Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS*. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB, v.11, n. 1, 2007.

SOARES, A. P., SOARES, A. P. *Previsão de Variáveis Meteorológicas através de Redes Neurais*. Agrosoft 1999. II Congresso da SBI-Agro, CD Anual.

TAFNER, M. A.; XEREZ, M. & RODRIGUES FILHO, I. W. *Redes Neurais Artificiais – Introdução e Princípios de Neurocomputação*. Blumenau, SC: EKO: Editora da FURB, 1995.

THOMAS, J. & NELSON, J. *Métodos de pesquisa em atividade física*. 3ª Edição. São Paulo, SP: Artmed, 1996.

TOMINAGA, H. A. *Ciclo da Água*.  
<http://www.geocities.com/Athens/Forum/5265/Ciclo.htm> Acesso em 03 Nov. 2005.

TUCCI, C. E. M. (Organizador). *Hidrologia – Ciência e Aplicação*. 3ª Edição. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS / ABRH, 2002.

TUNDISI, J. G. *Água no Século XXI – Enfrentando a Escassez*. 2ª Edição. São Carlos, SP: RiMa, IIE, 2005.

TURBAN, E.; RAINER JR., R. K. & POTTER, R. E. *Administração de Tecnologia da Informação – Teoria e Prática*. Tradução da 2ª Edição Americana. Rio de Janeiro, RJ: Campus, 2003.

UNIVERSITY OF TÜBINGEN. JavaNNS – Java Neural Network Simulator. [http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/forchung/JavaNNS/welcome\\_e.html](http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/forchung/JavaNNS/welcome_e.html) Acesso em 21 Abr. 2006.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION: WMO. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. Geneva: WMO n.8, 1983.

ZELLS, A. [http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/software/JavaNNS/welcome\\_e.html](http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/software/JavaNNS/welcome_e.html)  
Acesso em 02 Out. 2006.

**ANEXO A**

**Questionário aplicado aos responsáveis pelo  
processamento dos dados pluviométricos**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO  
E MEIO AMBIENTE**

**ROTEIRO DE ENTREVISTA**

**Objetivo:** *Levantar informações sobre o perfil dos responsáveis pelos postos pluviométricos, sobre as características desses equipamentos e sobre a forma como são moitorados os dados de precipitação.*

**ENTIDADE / ÓRGÃO**

**SETOR**

**RESPONDENTE**

**PERFIL DO RESPONDENTE**

1. Qual o seu nível de escolaridade?

Analfabeto

Ensino Médio

Pós-Graduado:

Ensino Fundamental

Ensino Superior

2. Qual a sua profissão?

3. Qual a função que exerce na empresa?

4. Você acredita que o progresso contribui para a degradação do meio ambiente?

Sim

Não

5. Você acha que é possível conciliar desenvolvimento econômico e social com a preservação da natureza? Como?

Sim

Não

6. Você acha que a sua atividade profissional contribui de alguma forma para o Desenvolvimento Sustentável?

Sim

Não

## **SOBRE A ATIVIDADE DE MONITORAMENTO DOS DADOS PLUVIOMÉTRICOS**

7. O que você entende por Monitoramento Ambiental?


8. Qual a importância dos dados pluviométricos para a gestão dos recursos hídricos?


9. Com que objetivo esta empresa monitora dados pluviométricos?


10. Quantos postos pluviométricos esta empresa possui?

--

**OBS. Preencha os dados sobre os postos pluviométricos que esta empresa possui na tabela em anexo.**

11. Você acha que esse número é suficiente? Caso negativo, qual seria o número ideal?

Sim                       Não

--

12. No momento da instalação dos equipamentos, que aspectos são observados?

- altura do pluviômetro
- distância de eventuais obstáculos
- terreno onde será instalada
- vegetação local
- nenhum desses aspectos
- todos os aspectos citados
- outros \_\_\_\_\_

13. No caso dos pluviômetros convencionais, como são coletados os dados e com que periodicidade é feita a coleta?


14. No caso dos pluviômetros automáticos, de que forma é feita a transmissão dos dados coletados? E qual a periodicidade?

- Via Cabo \_\_\_\_\_
- Via Telefone \_\_\_\_\_
- Via Celular GSM \_\_\_\_\_
- Via Radio \_\_\_\_\_
- Via Satélite \_\_\_\_\_

15. São realizadas manutenções nesses equipamentos?

- Sim
- Não

16. Que procedimentos de manutenção são normalmente realizados? E com que periodicidade?


17. Como são selecionados os operadores desses equipamentos?


18. Esses operadores recebem algum tipo de treinamento para realizar essa tarefa?

- Sim
- Não

19. Os operadores são remunerados para realizarem essa tarefa? Caso positivo, qual o valor dessa remuneração?

- Sim
- Não

--

20. Existe algum formulário padronizado para que os operadores possam fazer as anotações dos dados monitorados?

- Sim
- Não

21. Ao chegarem a empresa, como são processados os dados pluviométricos?

--

22. Onde são armazenados?

--

23. Quais os problemas mais comuns que ocorrem no processo de obtenção dos dados monitorados pelos postos pluviométricos?

- falha nos equipamentos
- falha no processo de transmissão dos dados
- falha na transcrição dos dados por parte do observador (operador)

Outros: 

--

**24.** Em sua opinião, quais as principais causas dos problemas citados na questão anterior?

- equipamentos de baixa qualidade
- falta de manutenção dos equipamentos
- falta de conhecimento técnico dos operadores
- falta de atenção dos operadores

Outros: 


**25.** Quais as principais conseqüências desses problemas?

- Dados inconsistentes
- Ausência de dados

Outros: 


**26.** Como dados inconsistentes ou a falta de dados interferem no trabalho desta empresa?


**27.** Em sua opinião, o que poderia ser feito para que esses problemas fossem minimizados?


**28.** Quais os padrões de dados pluviométricos aceitáveis?


**29.** Atualmente os dados pluviométricos monitorados passam por algum controle de consistência? Caso positivo, qual o método utilizado? Que técnicas são utilizadas para implementar esse método?

- Sim                       Não


**30.** No caso do lacunas das série históricas, é realizado algum procedimentos para o preenchimento das mesmas? Caso positivo, qual o método utilizado? Que técnicas são utilizadas para implementar esse método?

- Sim                       Não




**ANEXO B**

**Dados Pluviométricos de 1963 a 1984 dos postos de Indiaroba,  
Cristinápolis, Arauá, Umbaúba e Estância**

### DADOS PLUVIOMÉTRICOS DO POSTO DE INDIAROBA DE 1963 A 1985

Ano	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Cont.Num	Soma	Média	Min	Max
1963	14,5	84	97,5	179,4	387,4	92,6	58,1	46,9	27,1	8	28,2	76	12	1099,7	91,64	8	387,4
1964	101,8	63,2	181,8	431,8	439,8	86,8	193,5	151,4	135,4	47,8	157,2	25,2	12	2015,7	167,98	25,2	439,8
1965	95,2	15	26,4	15,2	34,2	173,7	147	84,4	59,6	46,2	89,6	0	12	786,5	65,54	0	173,7
1966	10,6	100,2	160,2	390,2	276	152,2	166	89	60,5	67,8	56,8	10	12	1539,5	128,29	10	390,2
1967	0	61,7	107,3	212,6	421,6	175,8	201,2	60	4,1	67,6	40,4	26,8	12	1379,1	114,93	0	421,6
1968	81,2	174	147,2	177	555,1	166,7	155,8	30,2	33	57,9	47,1	56,8	12	1682	140,17	30,2	555,1
1969	51,8	65	238,4	184,2	283,1	282,6	153,6	68,2	21,5	0	0	0	12	1348,4	112,37	0	283,1
1970	86,6	63,8	145,9	67,2	128,5	130,4	108,1	228,2	0	0	0	0	12	958,7	79,89	0	228,2
1971	20,95	44,16	103,6	171,4	322	246	175,6	47,6	284,4	73,8	0	7,43	12	1496,94	124,75	0	322
1972	20	73,9	30,8	262,3	295,8	203,8	0	177,2	100	39	0	0	12	1202,8	100,23	0	295,8
1973	14,4	0	33,8	113,7	439,2	222,6	245,8	233,8	203,2	146	64,2	0	12	1716,7	143,06	0	439,2
1974	140,1	236,6	217,2	552,4	491,6	197,2	166,4	239,4	106,2	17,8	141,8	7,8	12	2514,5	209,54	7,8	552,4
1975	89,5	61,2	189,4	349,6	309,6	420,9	312,8	260	174,6	10,4	26,8	168,8	12	2373,6	197,8	10,4	420,9
1976	76,2	182,8	152,8	112,8	57,6	147,4	57,4	205,6	25	294,6	107,4	32,4	12	1452	121	25	294,6
1977	55,9	171,2	50	247,8	313,3	280,4	215	43,6	22,2	94,8	45	41,1	12	1580,3	131,69	22,2	313,3
1978	27,8	179	247,9	28,6	290,4	216,4	243,4	205,4	63	28,2	0	97,2	12	1627,3	135,61	0	290,4
1979	39,4	53,2	224,6	115,6	146	320,6	168,8	81,2	127,6	0	296	43,8	12	1616,8	134,73	0	320,6
1980	105	262	125,6	29,8	115,6	179,4	130,2	81,4	19	25	25	83,5	12	1181,5	98,46	19	262
1981	43	74,8	129,7	287	126	115,6	52,2	112,1	27,2	11,2	0	65,8	12	1044,6	87,05	0	287
1982	31,4	43,4	0	211	146,8	199,4	164,4	118	56	196,8	65,2	64	12	1296,4	108,03	0	211
1983	0	102,4	53,2	180	103,8	125,8	331,2	50	80,2	50	9,5	26,6	12	1112,7	92,73	0	331,2
1984	17,4	141	66,6	389	294	185,8	144,6	128,6	145	23,8	13	0	12	1548,8	129,07	0	389
1985	32,6	99,6	130,4	185	269,6	226,4	296,4	290,2	46,8	0	122	75,4	12	1774,4	147,87	0	296,4

## DADOS PLUVIOMÉTRICOS DO POSTO DE CRISTINÁPOLIS DE 1963 A 1985

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Cont.Num	Soma	Média	Min	Max
1963	3,32	153,4	50,3	51,7	171,9	91,8	47,1	80,3	36,5	2,9	55,4	2,7	12	747,32	62,28	2,7	171,9
1964	107,7	124,1	222,4	406,2	443,7	125	203,5	198,2	144,3	102,5	206,4	82,1	12	2366,1	197,18	82,1	443,7
1965	39,1	20,27	52,57	101,74	29,98	154,01	127,45	0	88,64	75,34	81,8	27	12	797,9	66,49	0	154,01
1966	50,8	128,8	50,1	360,4	369,8	150,7	208,6	70	84,6	63,3	38,2	11,8	12	1587,1	132,26	11,8	369,8
1967	6	24,7	44,6	49,8	158,7	109,4	130,9	62,9	13,2	9,7	10,6	120,5	12	741	61,75	6	158,7
1968	131,8	88,1	130	142,2	348,8	198,9	42,7	55,9	17,7	22	29,2	29,2	12	1236,5	103,04	17,7	348,8
1969	33,7	29,2	253,49	52,49	173,5	337	148,8	28,29	10,2	0	0	151	12	1217,67	101,47	0	337
1970	107,12	37,41	8,7	102,5	132	91	200	233	0	77	44	6	12	1038,73	86,5608	0	233
1971	10	32	37,2	104,3	288,8	161,2	196,6	150,6	121	67,8	0	0	12	1169,5	97,46	0	288,8
1972	51,6	73,4	24,5	148,5	235,9	131,3	135,4	111,7	62	32,2	2	141,2	12	1149,7	95,81	2	235,9
1973	26,4	2	43	81,1	266,8	195,6	177,4	141,4	166	169,6	18,6	6,2	12	1294,1	107,84	2	266,8
1974	118	128,4	137	289,4	350,6	184,8	144,1	212,4	48,2	25,4	139,3	7,5	12	1785,1	148,76	7,5	350,6
1975	96,8	6,2	158,6	177,6	193,6	309	239	188,2	213,8	9,4	29,8	178,6	12	1800,6	150,05	6,2	309
1976	41	133,8	91,2	141	91,6	131,8	71	91,8	78,6	222,2	97,5	15,9	12	1207,4	100,62	15,9	222,2
1977	82	100,1	37,9	153	231,6	208,7	188,4	53,4	51,9	163,8	29,2	143,5	12	1443,5	120,29	29,2	231,6
1978	8,5	146,8	224,5	67,1	195,5	192,1	194,5	173,9	85,9	20,1	5,5	51,6	12	1366	113,83	5,5	224,5
1979	23,5	56,9	57,6	98	82,7	222,4	99,4	119,1	78	27,7	143,3	19,2	12	1027,8	85,65	19,2	222,4
1980	106,4	368,2	118,8	17,8	113	128,5	142,1	73,6	112,9	207,3	300,2	23,5	12	1712,3	142,69	17,8	368,2
1981	49,3	54,3	319,6	184,8	86,5	151,8	59,3	117,4	9,6	0	36,5	104,5	12	1173,6	97,8	0	319,6
1982	18,2	37,3	3,9	316,4	153,1	259,7	152,7	112,7	122,9	71,5	14,1	21,6	12	1284,17	107,014	3,93	316,44
1983	2,2	88,6	99,5	209	55,6	104,9	150	96	24,8	40,7	41,3	36,5	12	949,1	79,09	2,2	209
1984	21,3	0	157,6	293,5	104,2	141,8	68,4	56,7	117,7	25,5	37,8	92	12	1116,5	93,04	0	293,5
1985	30	91,1	120,4	245,7	305,1	173,9	260,9	192,6	38,6	28,2	128	104,3	12	1718,8	143,23	28,2	305,1

### DADOS PLUVIOMÉTRICOS DO POSTO DE ARAUÁ DE 1963 A 1985

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Cont.Num	Soma	Média	Min	Max
1963	10,07	59,8	17,4	44,6	220,4	94,3	53	29,3	10,2	0,4	13,6	90,7	12	643,77	53,65	0,4	220,4
1964	30,6	10,4	115,7	204,5	112,5	0,6	211,64	146,6	82,1	21,4	115,2	28,7	12	1079,94	90,00	0,6	211,64
1965	31,7	13,2	45,6	50,7	22,2	168,2	122,2	69,9	41,1	40,9	81,1	18,5	12	705,3	58,78	13,2	168,2
1966	67,5	132	74,7	349,3	303,7	106	262,7	66,3	42,4	36,7	43,5	14,1	12	1498,9	124,91	14,1	349,3
1967	0	23,6	164,8	97,8	229,7	207,2	133,5	39,9	43,5	43,5	33,6	45,8	12	1062,9	88,58	0	229,7
1968	67,9	18,7	31,4	32	207,1	99,8	86,2	29,1	25,6	22,6	25,2	15	12	660,6	55,05	15	207,1
1969	18,2	30,4	132,7	12,5	64,6	96,2	35,7	55	22	19,6	6,4	51,3	12	544,6	45,38	6,4	132,7
1970	19,0	122,35	46,6	39,6	28,6	36,4	95,0	80,6	5,0	36,4	39,2	0,6	12	549,35	45,78	0,6	122,35
1971	13,0	26,2	24,6	69,4	176,8	149,5	99,9	61,8	71,2	31,6	6,8	6,6	12	737,4	61,45	6,6	176,8
1972	9,8	52,0	23,2	68,3	149,7	145,0	101,4	127,0	74,2	23,2	0,0	139,1	12	912,9	76,08	0	149,7
1973	11,6	6,6	6,2	46,5	180,7	142,1	60,3	66,5	147,1	48,5	22,2	0,6	12	738,9	61,58	0,6	180,7
1974	80,1	115,7	69,5	227,2	295,0	68,6	109,5	132,4	78,8	50,6	43,2	19,2	12	1289,8	107,48	19,2	295
1975	24,4	17,0	62,4	39,1	145,6	158,9	212	187,4	122,7	1,2	1,4	82,9	12	1055	87,92	1,2	212
1976	54,0	96,0	113,3	112,4	51,5	104,9	97,0	74,5	41,0	151,1	113,4	23,4	12	1032,5	86,04	23,4	151,1
1977	45,9	85,3	31,5	199,5	147,6	94,7	73,4	37,4	46,5	61,8	17,3	131,9	12	972,8	81,07	17,3	199,5
1978	10,6	122,8	127,4	87,1	140,2	98,9	95,0	87,4	47,5	19,3	3,1	30,0	12	869,3	72,44	3,1	140,2
1979	37,9	25,6	76,5	174,7	39,1	101,7	74,2	30,4	32,2	20,1	79,8	7,2	12	699,4	58,28	7,2	174,7
1980	18,0	57,1	19,3	12,2	41,6	57,7	44,5	18,5	10,8	16,6	27,7	12,2	12	336,2	28,02	10,8	57,7
1981	8,8	12,1	45,5	83,6	105,6	55,9	51,9	102,9	32,1	2,1	27,1	38,6	12	566,2	47,18	2,1	105,6
1982	28,2	57,2	6,3	117,5	176,4	256,4	186,7	119,0	94,9	30,7	30,5	20,7	12	1124,5	93,71	6,3	256,4
1983	6,7	77,1	77,0	145,9	68,6	158,9	154,9	84,7	14,2	52,5	45,5	39,2	12	925,2	77,1	6,7	158,9
1984	14,4	0,0	100,1	179,9	107,8	137,6	123,4	84,7	144,8	39,4	54,1	17,0	12	1003,2	83,6	0	179,9
1985	77,1	56,1	121,8	229,9	203,1	127,2	132,3	137,7	55,3	8,0	91,5	77,2	12	1317,2	109,77	8	229,9

## DADOS PLUVIOMÉTRICOS DO POSTO DE UMBAÚBA DE 1963 A 1985

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Cont. Num	Soma	Média	Min	Max
1963	8,19	25,5	75	82,2	291,6	103,2	76,4	56,36	43,6	41,8	33,67	52,81	12	890,324	74,19	8,19	291,6
1964	184,6	104,4	183,8	378,7	334	109,4	213,2	181,6	174,4	97,8	132,6	48,4	12	2142,9	178,58	48,4	378,7
1965	45,2	32,2	72	131,7	40,4	186,6	149,6	61,2	156,4	104,8	3,2	19,2	12	1002,5	83,54	3,2	186,6
1966	22,6	100,9	71,8	408,4	252,4	131,8	202,8	71,4	107,8	18,2	20	0	12	1408,1	117,34	0	408,4
1967	0	124,4	136,2	156	448,4	492,4	135,8	314,8	97,8	69	0	18	12	1992,8	166,07	0	492,4
1968	42	17,2	84,35	114,99	278,36	147,51	133,47	49,49	34,61	28,45	42,09	18,63	12	991,154	82,5961	17,2	278,357
1969	54,80	100,27	278,32	88,71	154,59	262,80	116,05	46,19	17,43	8,82	2,41	107,97	12	1238,36	103,196	2,408	278,322
1970	115,7	68,6	42,19	73,72	85,86	71,73	157,85	181,47	17,54	54,74	46,22	10,18	12	925,799	77,15	10,1813	181,471
1971	20,15	26,51	112,8	59,0	85,3	43,1	3,5	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	12	351,554	29,2961	0	112,8
1972	60,0	29,0	0,0	54,0	97,4	137,5	104,4	0,0	0,0	35,1	0,0	54,4	12	571,8	47,65	0	137,5
1973	21,0	0,0	13,3	49,4	209,9	279,0	231,1	120,26	158,49	127,31	22,69	3,83	12	1236,29	103,02	0	279
1974	67,9	78,0	113,0	343,0	334,0	115,0	202,0	19,6	79,4	8,0	105,0	14,0	12	1478,9	123,24	8	343
1975	102,7	22,7	197,9	298,4	216,1	248,6	240,1	123,5	163,0	40,0	10,0	114,2	12	1777,2	148,1	10	298,4
1976	37,1	135,6	130,1	147,7	63,3	121,0	33,9	102,0	63,7	167,7	125,2	23,0	12	1150,3	95,86	23	167,7
1977	107,3	176,8	32,4	254,3	301,9	142,7	168,4	39,4	37,4	147,1	155,8	154,1	12	1717,6	143,13	32,4	301,9
1978	11,8	137,3	225,7	152,2	166,2	156,3	158,5	106,0	35,8	9,4	4,4	67,4	12	1231	102,58	4,4	225,7
1979	29,2	69,0	100,2	127,8	31,6	197,8	88,4	74,0	95,0	22,0	223,2	4,2	12	1062,4	88,53	4,2	223,2
1980	87,2	254,0	90,5	19,8	151,2	117,6	95,4	55,4	43,2	84,6	90,8	23,2	12	1112,9	92,74	19,8	254
1981	91,4	59,2	237,4	109,0	69,8	101,0	68,4	80,8	28,0	2,4	79,0	87,4	12	1013,8	84,48	2,4	237,4
1982	40,0	79,6	8,2	302,0	156,4	256,6	91,0	92,2	103,6	84,2	19,8	50,6	12	1284,2	107,02	8,2	302
1983	47,2	47,0	91,2	169,8	98,8	175,0	210,2	130,2	35,6	48,2	15,0	22,2	12	1090,4	90,87	15	210,2
1984	31,8	76,4	145,2	206,4	109,6	137,6	108,0	106,6	139,2	60,0	63,8	58,6	12	1243,2	103,6	31,8	206,4
1985	22,3	50,7	141,4	412,4	278,8	211,4	286,0	207,2	47,4	18,8	14,0	106,8	12	1797,2	149,77	14	412,4

### DADOS PLUVIOMÉTRICOS DO POSTO DE ESTÂNCIA DE 1963 A 1985

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Cont.Num	Soma	Média	Min	Max
1963	27,4	149,7	114,7	153	405	164,5	69,8	73,1	77,9	12,2	75	105,5	12	1427,8	118,98	12,2	405
1964	102,3	114,7	322,4	496,7	525,1	227,6	370,6	264,3	189,3	104,2	81,9	53	12	2852,1	237,68	53	525,1
1965	98,4	20,2	83,7	149,7	41,8	229,3	161	122,5	87,2	89,2	92,8	35,5	12	1211,3	100,94	20,2	229,3
1966	97,6	157,9	85,6	376,6	565	237,9	300	119,8	213,5	42,4	80,6	10,1	12	2287,0	190,58	10,1	565
1967	8,9	91,6	108,6	287,3	487,6	425,2	220,1	174,3	76	75,9	26,2	232,3	12	2214,0	184,5	8,9	487,6
1968	108,4	116,2	218,2	229,1	626,9	467,5	275,5	100,6	55,3	82,7	122	22,2	12	2424,6	202,05	22,2	626,9
1969	75,1	50	365,2	292,9	291,4	373,2	289,9	76,9	33,4	29,9	5,4	134,9	12	2018,2	168,18	5,4	373,2
1970	56,8	148,1	135,5	121,6	115,6	129,3	177,8	203,3	61,5	13,8	34,2	19,9	12	1217,4	101,45	13,8	203,3
1971	35,1	40,8	76,6	114,4	202,2	163,4	156,7	182,2	173,1	63,3	7,9	19,0	12	1234,7	102,89	7,9	202,2
1972	30,4	112,9	133,2	99,2	366,7	247,6	175,7	146,8	102,1	38,1	7,2	92,9	12	1552,8	129,4	7,2	366,7
1973	43,7	15,7	109,3	195,8	545,0	289,4	311,5	114,4	281,3	190,2	52,0	0,5	12	2148,8	179,07	0,5	545
1974	129,0	97,4	125,6	366,7	611,5	240,2	215,2	217,8	118,3	11,8	82,8	27,4	12	2243,7	186,98	11,8	611,5
1975	82,5	29,6	238,5	201,0	241,2	443,5	501,5	377,0	181,0	13,6	12,0	148,2	12	2469,6	205,8	12	501,5
1976	37,0	145,6	301,3	198,0	153,6	191,4	141,9	108,5	38,6	338,8	99,4	2,0	12	1756,1	146,34	2	338,8
1977	151,8	235,4	97,6	377,8	338,6	198,7	214,4	106,0	94,8	117,0	28,2	128,5	12	2088,8	174,07	28,2	377,8
1978	11,0	230,3	311,6	188,8	318,0	216,6	4	125,0	62,5	24,8	18,4	89,4	12	1600,4	133,37	4	318
1979	21,7	42,4	132,9	218,4	149,0	279,7	141,5	118,3	95,6	29,5	274,1	10,1	12	1513,2	126,1	10,1	279,7
1980	87,8	320,8	133,0	53,2	147,8	187,0	214,8	118,8	70,6	146,0	76,4	33,4	12	1589,6	132,47	33,4	320,8
1981	62,6	41,2	183,4	342,2	163,2	159,2	126,8	167,0	35,6	0,0	43,4	59,2	12	1383,8	115,32	0	342,2
1982	37,0	127,0	4,6	488,6	177,8	301,2	261,8	136,4	134,6	84,0	14,0	15,0	12	1782,0	148,5	4,6	488,6
1983	19,2	93,2	127,0	271,0	160,8	163,7	284,1	189,6	25,0	71,4	22,2	30,6	12	1457,8	121,48	19,2	284,1
1984	28,0	24,2	75,0	426,4	271,4	175,2	157,8	108,8	303,2	67,2	62,8	51,0	12	1751,0	145,92	24,2	426,4
1985	16,5	137,0	139,7	502,4	401,9	282,4	303,0	239,5	75,3	18,9	163,9	64,4	12	2344,9	195,41	16,5	502,4

## **ANEXO C**

**Código fonte do programa utilizado para discretização dos valores de precipitação, através da criação de categorias**

```

#include <iostream.h>

int categoria (double dado)
{
    if (dado < 0)
        return -1;
    else if (dado <40)
        return 1;
    else if (dado <80)
        return 2;
    else if (dado <120)
        return 3;
    else if (dado <160)
        return 4;
    else if (dado <200)
        return 5;
    else if (dado <240)
        return 6;
    else if (dado <280)
        return 7;
    else if (dado <320)
        return 8;
    else if (dado <360)
        return 9;
    else if (dado <400)
        return 10;
    else
        return 11;
}

int main ()
{
    int estacao, mes, ano;
    double base [5][22][4];

    // ----- Entrada -----

    // Leitura dos dados no periodo de 63 a 84
    // considerando apenas os meses de maio a agosto

    for (estacao=0; estacao<5; estacao++)
        for (ano=63; ano<85; ano++)
            for (mes=5; mes<9; mes++)
                cin >> base[estacao][ano-63][mes-5];

    // ----- Saida -----

    for (ano=63; ano<85; ano++)
        for (mes=5; mes<9; mes++) {
            for (estacao=1; estacao<5; estacao++)
                cout << categoria (base[estacao][ano-63][mes-5]) << " ";
            cout << categoria (base[0][ano-63][mes-5]) << endl;
        }
}

```

**ANEXO D**

**Características dos Postos Pluviométricos por Entidade**

Tabela D.1 – Características dos postos pluviométricos da CODEVASF

Identificação do Equipamento	Tipo do Equip.			Modelo do Equipamento	Localização			Situação		Início da Série	Término da Série	
	1	2	3		Município	Coordenadas Geográficas		Bacia Hid.	A			D
						Latitude	Longitude					
Betume	X			Não Informado	Neópolis	10°26'08"	36°32'23"	São Francisco	X		1989	—
Cotinguiba Pintoba	X			Não Informado	Propriá	10°16'	36°51'	São Francisco	X		1993	—

Tabela D.2 – Características dos postos pluviométricos da EMBRAPA

Identificação do Equipamento	Tipo do Equip.			Modelo do Equipamento	Localização			Situação		Início da Série	Término da Série	
	1	2	3		Município	Coordenadas Geográficas		Bacia Hid.	A			D
						Latitude	Longitude					
1820			X	De báscula simples	Umbaúba	11°23'00"	37°39'28"		X		Não Informado	—
1822			X	De báscula simples	Boquim	11°08'49"	37°37'14"	Piauí	X		Não Informado	—
2005			X	De báscula dupla	Frei Paulo	10°32'58"	37°32'04"		X		2005	—
2012			X	De báscula dupla	Canindé do S. Francisco	09°39'36"	37°47'22"	S. Francisco	X		2005	—
2019			X	De báscula dupla	Gararu	09°58'03"	37°05'00"	S. Francisco	X		2005	—

Tabela D.3 – Características dos postos pluviométricos do INMET

Identificação do Equipamento	Tipo do Equip.			Modelo do Equipamento	Localização			Situação		Início da Série	Término da Série	
	1	2	3		Município	Coordenadas Geográficas		Bacia Hid.	A			D
						Latitude	longitude					
A409			X	Não Informado	Aracaju	10°57'	37°03'		X		2003	—
83095	X			Não Informado	Aracaju	10°59'	37°04'		X		Não Informado	—
83096	X			Não Informado	Aracaju	10°57'	37°03'		X		Não Informado	—
83097	X			Não Informado	Propriá	10°12'	36°52'	S. Francisco	X		Não Informado	—
83195	X			Não Informado	Itabaianinha	11°07'	37°49'		X		Não Informado	—

Tabela D.4 – Características dos postos pluviométricos da SRH/SE

Identificação do Equipamento	Tipo do Equip.			Modelo do Equipamento	Localização			Situação		Início da Série	Término da Série	
	1	2	3		Município	Coordenadas Geográficas		Bacia Hid.	A			D
						Latitude	longitude					
31910			X	De bascule simples	N. Senhora da Glória	10°20'	37°43'	S. Francisco	X		2004	—
31912			X	De báscula simples	Poço Redondo	9°84'	37°67'	S. Francisco	X		2004	—
32638			X	De báscula simples	Propriá	10°22'	36°83'	S. Francisco	X		2004	—
31911			X	De báscula simples	Riachão do Dantas	11°07'	37°74'	Piauí	X		2004	—

Tabela D.5 – Características dos postos pluviométricos do DEHIDRO

Identificação do Equipamento	Tipo do Equip.			Modelo do Equipamento	Localização			Situação		Início da Série	Término da Série	
	1	2	3		Município	Coordenadas Geográficas		Bacia Hid.	A			D
						Latitude	longitude					
Perímetro Irrigado Pauí	X			Helman	Lagarto	10°56'	37°39'	Piauí	X		1988	—
Perímetro Irrigado Califórnia	X			Helman	Canindé do S. Francisco	9°42'	37°49'	S. Francisco	X		1988	—
Perímetro Irrigado Jabiberi	X			Helman	Tobias Barreto	11°05'	37°57'	Rio Real	X		1988	—
Perímetro Irrigado Jacarecica	X			Helman	Itabaiana	10°42'	37°20'	Sergipe	X		1988	—
Perímetro Irrigado Ribeira	X			Ville de Paris	Itabaiana			Vaza Barris		X	2002	2004

Tabela D.6 – Características dos postos pluviométricos do DEAGRO

Identificação do Equipamento	Tipo do Equip.			Modelo do Equipamento	Localização			Situação		Início da Série	Término da Série	
	1	2	3		Município	Coordenadas Geográficas		Bacia Hid.	A			D
						Latitude	Longitude					
Mocambo	X			Não Padronizado	Aquidabã	10°11'45"	37°08'06"	S. Francisco		X		
Aquidabã	X			Ville de Paris	Aquidabã	10°17'56"	37°02'47"	S. Francisco	X		1912	—
Fazenda Buril	X			Ville de Paris	Araúá	11°17'23"	37°38'31"	Piauí	X		1963	—
Boquim			X	De báscula simples	Boquim	10°08'32"	37°37'01"	Piauí	X		1985	—
Borda da Mata	X			Não Padronizado	Canhoba			S. Francisco		X		
Frutuoso	X			Não Padronizado	Canhoba			S. Francisco		X		
Canhoba	X			Não Padronizado	Canhoba	10°13'33"	37°37'07"	S. Francisco		X		
Califórnia	X			Ville de Paris	Canindé do S. Francisco			S. Francisco	X			—
Santa Rita	X			Ville de Paris	Canindé do S. Francisco			S. Francisco	X			—
Canindé	X			Ville de Paris	Canindé do S. Francisco			S. Francisco	X		1912	—
Miranda	X			Ville de Paris	Capela	10°30'00"	37°04'00"	Japaratuba	X		1963	—
Ass. M. Martinho	X			Ville de Paris	Carira	10°24'03"	37°44'58"	Vaza Barris	X		1963	—
Descoberto	X			Não Padronizado	Carira			Vaza Barris	X			—

Tabela D.6 – Características dos postos pluviométricos do DEAGRO (Continuação)

Identificação do Equipamento	Tipo do Equip.			Modelo do Equipamento	Localização			Situação		Início da Série	Término da Série	
	1	2	3		Município	Coordenadas Geográficas		Bacia Hid.	A			D
						Latitude	longitude					
Cutias	X			Não Padronizado	Carira	10°25'44"	37°40'06"	Vaza Barris	X		___	
Fortuna	X			Não Padronizado	Carira	10°15'07"	37°37'44"	Sergipe	X		1999	___
Bezerra	X			Não Padronizado	Carira	10°25'50"	37°49'13"	Vaza Barris	X		___	
Lagoa do Facão	X			Não Padronizado	Carira	10°17'05"	37°37'59"	Sergipe	X		1999	___
Carira	X			Não Padronizado	Carira	10°22'03"	37°42'51"	Vaza Barris	X		___	
Colônia Treze	X			Não Padronizado	Colônia Treze	11°05'00"	37°10'00"	Piauí	X		1985	___
Santa Clara	X			Ville de Paris	Cristinápolis	11°29'00"	37°46'00"	Rio Real	X		1963	___
Cumbe	X			Ville de Paris	Cumbe	10°21'14"	37°11'20"	Japaratuba	X		1963	___
Divina Pastora	X			Ville de Paris	Divina Pastora	10°40'41"	37°09'13"	Japaratuba	X		1994	___
Estância	X			Ville de Paris	Estância	11°14'15"	37°27'16"	Piauí	X		1919	___
Caborges	X			Não Padronizado	Feira Nova			Sergipe	X		2001	___
Pedra Branca	X			Não Padronizado	Feira Nova			Sergipe	X		___	
São Domingos	X			Não Padronizado	Feira Nova			Sergipe		X	___	

Tabela D.6 – Características dos postos pluviométricos do DEAGRO (Continuação)

Identificação do Equipamento	Tipo do Equip.			Modelo do Equipamento	Localização			Situação		Início da Série	Término da Série	
	1	2	3		Município	Coordenadas Geográficas		Bacia Hid.	A			D
						Latitude	longitude					
Catuabos	X			Não Padronizado	Frei Paulo			Vaza Barris		X		
Serras Pretas	X			Não Padronizado	Frei Paulo	10°30'10"	37°37'21"	Vaza Barris		X		
Frei Paulo	X			Ville de Paris	Frei Paulo	10°32'46"	37°31'54"	Vaza Barris	X		1912	—
Genipatuba	X			Não Padronizado	Gararu	09°56'16"	37°06'47"	S. Francisco	X		1985	—
São Mateus	X			Não Padronizado	Gararu	10°04'40"	37°18'21"	S. Francisco	X			—
Riacho Grande	X			Não Padronizado	Graccho Cardoso					X	1963	1985
Lagoa do Rancho	X			Não Padronizado	Graccho Cardoso					X		
Três Barras	X			Não Padronizado	Graccho Cardoso					X		
Indiaroba	X			Ville de Paris	Indiaroba	11°31'24"	37°31'37"	Rio Real	X		1963	—
Itabaiana	X			Ville de Paris	Itabaiana	10°41'53"	37°25'38"	Sergipe	X			—
Caraíbas	X			Não Padronizado	Itabaiana					X	1913	2005
Marcela	X			Não Padronizado	Itabaiana					X		
Jardim	X			Não Padronizado	Itabaianinha				X			—

Tabela D.6 – Características dos postos pluviométricos do DEAGRO (Continuação)

Identificação do Equipamento	Tipo do Equip.			Modelo do Equipamento	Localização			Situação		Início da Série	Término da Série	
	1	2	3		Município	Coordenadas Geográficas		Bacia Hid.	A			D
						Latitude	Longitude					
Itabaianinha	X			Ville de Paris	Itabaianinha	11°16'00"	37°47'00"		X		1912	___
Lagoa Redonda	X			Não Padronizado	Itabi	10°06'50"	37°07'23"	S. Francisco	X		1963	___
Mão Esquerda	X			Não Padronizado	Itabi	10°07'11"	37°11'32"	S. Francisco	X			___
Mata Grande	X			Não Padronizado	Itabi	10°10'04"	37°09'08"	S. Francisco	X			___
Ipanema (Faz. Belém)	X			Ville de Paris	Itaporanga D'Ajuda	10°56'28"	37°20'46"	Vaza Barris	X		1912	___
Cajueiro	X			Ville de Paris	Japaratusba	10°34'41"	36°54'55"	Japaratusba	X		1917	___
Cohidro	X			Não Padronizado	Lagarto				X			___
Col. Antônio Martins	X			Ville de Paris	Lagarto	10°55'05"	37°31'01"	Vaza Barris	X		1920	___
Olhos d'Água	X			Não Padronizado	Lagarto	10°46'29"	37°41'27"	Vaza Barris		X	1963	1985
Pinheiro	X			Ville de Paris	Laranjeiras	10°46'13"	37°12'58"	Sergipe	X		1970	___
Malhador	X			Ville de Paris	Malhador	10°39'49"	37°18'10"	Sergipe	X		1963	___
Prochase	X			Não Padronizado	Maruim			Sergipe	X		1985	___
Moita Bonita	X			Não Padronizado	Moita Bonita	10°34'46"	37°20'22"	Sergipe	X		1995	___

Tabela D.6 – Características dos postos pluviométricos do DEAGRO (Continuação)

Identificação do Equipamento	Tipo do Equip.			Modelo do Equipamento	Localização				Situação		Início da Série	Término da Série
	1	2	3		Município	Coordenadas Geográficas		Bacia Hid.	A	D		
						Latitude	Longitude					
Monte Alegre de Sergipe	X			Ville de Paris	Monte Alegre	10°01'53"	37°33'38"	S. Francisco	X		1963	—
Neópolis			X	De Bâscula simples	Neópolis	10°18'54"	36°34'30"	S. Francisco	X		1985	—
Itacoatiara	X			Não Padronizado	N. Senhora Aparecida	10°17'22"	37°32'56"	Sergipe	X			—
Paturí	X			Não Padronizado	N. Senhora Aparecida	10°24'17"	37°28'26"	Sergipe		X		—
Riachão	X			Não Padronizado	N. Senhora Aparecida	10°17'43"	37°28'03"	Sergipe	X			—
Saco Alegre	X			Não Padronizado	N. Senhora Aparecida			Sergipe	X			—
Nossa Senhora Aparecida	X			Ville de Paris	N. Senhora Aparecida	10°23'40"	37°27'04"	Sergipe	X		1985	—
Nossa Senhora da Glória			X	De Bâscula simples	N. Senhora da Glória	10°13'08"	37°25'24"	Sergipe	X		1963	—
Embrapa	X			Ville de Paris	N. Senhora das Dores	10°30'00"	37°13'00"	Sergipe	X		1913	—
Volta	X			Não Padronizado	N. Senhora das Dores			Sergipe	X			—
Barro Vermelho	X			Não Padronizado	N. Senhora de Lourdes			S. Francisco	X		1985	—
Catingueira	X			Não Padronizado	N. Senhora de Lourdes			S. Francisco		X		—
Escurial	X			Não Padronizado	N. Senhora de Lourdes			S. Francisco	X			—

Tabela D.6 – Características dos postos pluviométricos do DEAGRO (Continuação)

Identificação do Equipamento	Tipo do Equip.			Modelo do Equipamento	Localização				Situação		Início da Série	Término da Série
	1	2	3		Município	Coordenadas Geográficas		Bacia Hid.	A	D		
						Latitude	Longitude					
Nossa Senhora do Socorro	X			Ville de Paris	N. Senhora do Socorro	10°51'08"	37°07'40"	Sergipe	X		1994	___
Tapado	X			Não Padronizado	Pedra Mole	10°36'00"	37°43'00"	Vaza Barris	X			___
Pedrinhas	X			Ville de Paris	Pedrinhas	11°11'41"	37°40'41"	Piauí	X		1963	___
Lagamar	X			Não Padronizado	Pinhão			Vaza Barris		X		
Lagoa Escura	X			Não Padronizado	Pinhão	10°34'36"	37°42'27"	Vaza Barris		X		
Vaza Barris	X			Não Padronizado	Pinhão	10°36'44"	37°44'56"	Vaza Barris	X			___
Sítios Novos	X			Não Padronizado	Poço Redondo			S. Francisco	X			___
Poço Redondo			X	De Bâscula simples	Poço Redondo	09°48'56"	37°40'57"	S. Francisco	X		1963	___
Cacimba Nova	X			Não Padronizado	Poço Verde	10°44'37"	38°03'12"	Rio Real	X			___
Ladeira do Tanquinho	X			Ville de Paris	Poço Verde	10°54'09"	38°12'27"	Rio Real	X		1937	___
Lages	X			Não Padronizado	Poço Verde	10°43'54"	38°05'17"	Rio Real	X			___
Tanque Novo	X			Não Padronizado	Poço Verde			Rio Real	X			___
Urubuzinho	X			Não Padronizado	Poço Verde	11°47'48"	38°13'25"	Rio Real	X			___

Tabela D.6 – Características dos postos pluviométricos do DEAGRO (Continuação)

Identificação do Equipamento	Tipo do Equip.			Modelo do Equipamento	Localização				Situação		Início da Série	Término da Série
	1	2	3		Município	Coordenadas Geográficas		Bacia Hid.	A	D		
						Latitude	Longitude					
Cabeça Vermelha	X			Não Padronizado	Poço Verde	10°43'55"	38°09'41"	Rio Real	X			___
Porto da Folha	X			Ville de Paris	Porto da Folha	09°55'18"	37°16'08"	S. Francisco	X		1913	___
Santa Cruz	X			Ville de Paris	Propriá	10°13'00"	36°50'00"	S. Francisco	X		1912	___
Base Física			X	De Bâscula simples	Riachão do Dantas	11°04'00"	37°44'00"		X		1963	___
Carnaíba	X			Não Padronizado	Riachão do Dantas				X			___
João Ferreira	X			Não Padronizado	Ribeirópolis			Sergipe		X		___
Malhada da Capelas	X			Ville de Paris	Ribeirópolis	10°32'00"	37°26'00"	Sergipe	X		1963	___
Salgado	X			Ville de Paris	Salgado	11°01'55"	37°28'32"	Piauí	X		1985	___
Banho Morno	X			Ville de Paris	São Cristovão				X		1963	___
Genipapo	X			Não Padronizado	São Miguel do Aleixo	10°29'09"	37°20'17"	Sergipe	X		1963	___
Lagoa da Campanha	X			Não Padronizado	São Miguel do Aleixo			Sergipe	X			___
Apertado das Pedras	X			Não Padronizado	Simão Dias				X			___
Bonsucesso	X			Ville de Paris	Simão Dias	10°44'04"	37°52'09"	Rio Real	X		1912	___

Tabela D.6 – Características dos postos pluviométricos do DEAGRO (Continuação)

Identificação do Equipamento	Tipo do Equip.			Modelo do Equipamento	Localização			Situação		Início da Série	Término da Série	
	1	2	3		Município	Coordenadas Geográficas		Bacia Hid.	A			D
						Latitude	longitude					
Carlos Lamarca	X			Não Padronizado	Simão Dias	10°37'14"	37°47'46"	Vaza Barris	X		___	
Faz. Mercador	X			Não Padronizado	Simão Dias	10°42'52"	37°49'11"	Rio Real	X		___	
Lagoa Seca	X			Não Padronizado	Simão Dias				X		___	
Mata do Peru	X			Não Padronizado	Simão Dias	10°47'04"	37°50'04"	Rio Real	X		___	
Candeias	X			Não Padronizado	Tobias Barreto	11°08'52"	37°53'08"	Rio Real		X		
Mocambo	X			Não Padronizado	Tobias Barreto			Rio Real		X	1912	1979
Poço da Clara	X			Não Padronizado	Tobias Barreto	10°54'35"	38°08'51"	Rio Real		X		
Tobias Barreto	X			Ville de Paris	Tobias Barreto	11°11'00"	38°00'00"	Rio Real	X		1913	___
Samambaia	X			Não Padronizado	Tobias Barreto	10°55'22"	38°03'10"	Rio Real		X	1963	1985
Tomar do Geru	X			Ville de Paris	Tomar do Geru	11°22'31"	37°50'23"	Rio Real	X		1963	___
Barrinha	X			Ville de Paris	Umbaúba	11°22'00"	37°40'00"		X		1963	___

**ANEXO E**

**Outros Resultados dos Experimentos**

