

Programa 33

SEGURANÇA E ALERTA QUANTO ÀS OSCILAÇÕES
DAS VAZÕES DOS CANAIS NATURAIS QUE IRÃO
RECEBER AS ÁGUAS TRANSPOSTAS



Projeto
São Francisco
Água a quem tem sede

ÍNDICE

33. PROGRAMA DE SEGURANÇA E ALERTA QUANTO ÀS OSCILAÇÕES DAS VAZÕES DOS CANAIS NATURAIS QUE IRÃO RECEBER AS ÁGUAS TRANSPOSTAS.....	3
33.1. Introdução	3
33.1.1. PISF e as enchentes nos rios receptores	4
33.1.2. A essência dos sistemas de alerta	6
33.1.3. O PISF e a operação do sistema de adução.....	7
33.1.4. Síntese	9
33.2. Justificativa	10
33.3. Objetivos.....	10
33.4. Metas.....	11
33.5. Indicadores Ambientais	12
33.6. Público Alvo	12
33.7. Metodologia e Descrição do Programa	13
33.7.1. Identificação das áreas vulneráveis	15
33.7.2. Seleção de áreas para o projeto do sistema de alerta	16
33.7.3. Desenvolvimento do módulo meteorológico.....	17
33.7.4. Os módulos hidrológico e hidráulico.....	18
33.7.5. Modelo de operação dos reservatórios	20
33.7.6. Fase de execução do PISF – Validação e calibração	21
33.8. Relação com outros Programas.....	21
33.9. Instituições Envolvidas na Implantação e Operação do Programa.....	23
33.10. Atendimento aos Requisitos Legais	25
33.11. Recursos Necessários	25



33.12.	Cronograma Físico	26
33.13.	Responsáveis pela Implementação do Programa.....	26
33.14.	Responsáveis pela Elaboração do Programa	26
33.15.	Bibliografia	27



33. PROGRAMA DE SEGURANÇA E ALERTA QUANTO ÀS OSCILAÇÕES DAS VAZÕES DOS CANAIS NATURAIS QUE IRÃO RECEBER AS ÁGUAS TRANSPOSTAS

33.1. Introdução

A ocupação de áreas de várzeas com fins agrícolas ou de habitação é prática comum desde os primórdios das civilizações. As várzeas apresentam vários atributos que facilitam esse processo, como, por exemplo: são formadas por terras férteis que proporcionam boa produtividade agrícola; têm relevo plano que facilita a prática da agricultura irrigada; são próximas às fontes de águas superficiais e subterrâneas com facilidade de acesso.

Contudo, há um contraponto nessa prática: a ocorrência de cheias periódicas que podem ocasionar perdas econômicas e, o que é pior, perdas de vidas humanas e animais. Em todo o mundo, técnicos e cientistas têm buscado encontrar maneiras de conviver com esse fenômeno, com redução das perdas econômicas e proteção das vidas humanas e animais.

Como formas de controle e proteção das áreas de várzeas são recomendadas na literatura técnica algumas medidas para convivência e controle de cheias. Essas medidas podem ser estruturais, quando necessitam a construção de obras (estruturas) ou não estruturais quando não implicam em construções. Entre as primeiras citam-se: reservatórios de amortecimento de cheias, canais de desvios, diques de proteção e a melhoria hidráulica por dragagens dos cursos d'água. Entre as não estruturais estão: a regulamentação da ocupação das várzeas, o zoneamento das áreas, a implantação de sistemas de alerta, o fortalecimento da defesa civil, o fortalecimento das instituições de gestão de recursos hídricos e campanhas de educação ambiental das populações da bacia hidrográfica.

Entre as medidas estruturais há também a possibilidade de mudanças das populações que residem nas áreas atingidas com mais frequência pelas cheias. Todavia, nem sempre essas ações atingem os objetivos desejados, por duas razões: as áreas desocupadas são



reocupadas por outras pessoas ou até pelo retorno de pessoas que se mudaram; a desocupação pode ser demasiadamente dispendiosa e traumática.

Nas inúmeras situações nas quais as populações permanecem nessas áreas de riscos e as medidas estruturais não resolvem totalmente o problema, ou não são viáveis, a formulação, implantação e operação de um sistema de alerta torna-se muito útil para minimizar as perdas econômicas e para evitar perdas de vidas. Esse problema das enchentes, com perdas significativas para a sociedade deve ser tratado: no setor público nas esferas Federal, Estaduais e Municipais. No setor privado a sociedade civil, as associações de moradores, as ONGs e outras organizações sociais devem participar em defesa de seus próprios interesses. Somente com a ação dos governos e o envolvimento das populações esse problema pode ser vencido.

O PBA-33, que trata das questões relacionadas às enchentes nos rios receptores, especificamente os que podem sofrer impactos das vazões transpostas. Contudo, não é de se esperar impactos significativos da adução nos fenômenos das enchentes. Nessa ótica, o PBA-33 pode ser visto mais como um instrumento de fortalecimento das instituições e de apoio às populações locais para convivência com um problema centenário. O PBA-33 está sendo desenvolvido no âmbito do Governo Federal, porém com a visão em articulação com PBAs correlatos de modo a inserir outras esferas de Governo e o envolvimento dos interessados.

33.1.1. PISF e as enchentes nos rios receptores

No contexto do Projeto de Integração da Bacia do Rio São Francisco (PISF) pode-se perguntar: como Projeto interfere, com perdas ou ganhos, no fenômeno de enchentes nas várzeas dos rios receptores das vazões transpostas?

Para responder essa questão vamos devemos recorrer ao entendimento do processo de formação das várzeas, particularmente dos rios intermitentes do Nordeste Setentrional. A formação dos rios em solos cristalinos se dá pelo processo de concentração do escoamento superficial difuso e a formação de pequenos talvegues. As vazões máximas escoadas são de baixa ordem de grandeza, nas escalas da unidade ou dezenas de m³/s.



Nessa parte dos rios, o alto vale, predomina o fenômeno da erosão. Nas áreas com vazões máximas da ordem de 30 a 40 m³/s, ordem de grandeza das vazões transpostas, no geral, não há problemas de enchentes, a menos de retenção de vazões ou destruição de pequenas barragens construídas sem o devido cuidado. Assim, nessas áreas a implantação de sistemas de alerta para cheias, quando e se necessária, não é prioritária. As ações necessárias são: as proteções contra erosões, pois estas podem resultar em assoreamento dos reservatórios no rio receptor. Ressalte-se que nas cabeceiras a condução das águas se dá em canais artificiais onde os processos erosivos são devidamente tratados.

Nos baixos vales estão os grandes problemas com enchentes. Como exemplos citam-se: as cidades de Limoeiro do Norte e Russas no baixo vale do Jaguaribe, no Ceará, e a cidade de Carnaubal no baixo vale do Açu, no Rio Grande do Norte. Nesses locais as cheias ocorrem com vazões na casa dos milhares de m³/s, geralmente acima de 2.000 m³/s. Não é de se esperar que quando essas cheias estejam ocorrendo, as águas do PISF continuem sendo bombeadas. Com uma boa estratégia de operação do sistema de adução, o bombeamento não ocorreria nos momentos de cheias nos rios receptores. Ademais, mesmo considerando-se um retardo na decisão de parar o bombeamento do rio São Francisco, o efeito de adicionar cerca de 40 m³/s a um valor superior 2000 m³/s seria desprezível na elevação dos níveis de água das enchentes. Em síntese, os efeitos da transposição de vazões na elevação dos níveis de água dos rios receptores. Mesmo assim, esses efeitos seriam por curto intervalo de tempo.

Nos médios vales, alguns problemas de cheias, com vazões na ordem das baixas centenas de m³/s, podem acontecer em populações que habitam as proximidades dos rios. Nessas situações, é possível que as vazões aduzidas tenham impactos perceptíveis nos níveis de água. Porém, essa situação só acontecerá quando o sistema de adução não tiver regras de operação bem elaboradas. Com boas regras de operação dos reservatórios receptores, mesmo nos médios vales os efeitos da adução nas cheias seriam mínimos. Em resumo, nos médios vales, com vazões de cheias na faixa das altas dezenas e baixas centenas de m³/s deve se concentrar a atenção maior do PBA-33.



33.1.2. A essência dos sistemas de alerta

Os sistemas de alerta de enchentes, em essência, objetivam enviar mensagens às populações que habitam áreas de riscos da vinda de uma onda de cheia que pode atingir suas habitações e edificações. Para ser eficiente um Sistema de Alerta deve enviar a mensagem com tempo suficiente para que a defesa civil e as organizações civis possam providenciar a remoção temporária das populações em risco. Os sistemas de alerta contra cheias são compostos por dois segmentos: o tecnológico e o operacional.

Os fundamentos de um sistema de alerta tecnológico são: 1) modelo meteorológico de previsão de chuvas com antecipação das tempestades em intervalos de algumas horas a alguns dias; 2) modelo hidrológico que transforma a chuva em vazão nos rios e riachos; 3) modelo hidráulico que permite avaliar o tempo de caminhamento da onda de cheia de um ponto de controle até a área a proteger. No lado institucional operacional, o sistema deve ter uma sala de situação aonde chegam as informações técnicas sobre as possíveis cheias e são tomadas decisões para, se for o caso, evacuação da área a ser atingida.

Um sistema de alerta pode ser complexo e de alto custo. Por exemplo, em São Paulo está sendo implantado que Sistema de Alerta que permite conhecer com antecipação de duas horas o transbordamento dos rios e córregos da área do Projeto. Na primeira fase, o sistema será implantado nas bacias do Tietê e Piracicaba.

O sistema recebe dados de 200 estações climatológicas espalhadas ao longo do território do Estado. Além das despesas já realizadas, estão previstos investimentos adicionais de oito milhões de reais para a compra de um novo radar meteorológico e dois milhões de reais para o desenvolvimento de modelos matemáticos na Escola Politécnica da USP.¹

No outro lado dos modelos complexos, há os modelos empíricos nos quais a sociedade e as prefeituras municipais procuram conviver com as enchentes. Um exemplo foi encontrado na comunidade de Quixeré, cidade às margens do baixo Jaguaribe, no Estado

¹ www.estadao.com.br Nacional/Previsão de enchentes. 15 de outubro de 2010



do Ceará.² A Prefeitura Municipal, na época de chuvas, recebia informações nos níveis de água do rio Jaguaribe na estação linimétrica de Peixe Gordo, na ponte da BR-116 no rio Jaguaribe (situada alguns quilômetros a montante da cidade de Quixeré). Os técnicos e gestores locais conheciam, por aprendizado empírico, uma relação entre os níveis da água em Peixe Gordo e os níveis de água na cidade algumas horas depois. Os técnicos locais já tinham predeterminado os locais altos da cidade para onde as populações em risco deveriam ser conduzidas.

Esse modelo, mesmo rudimentar, tinha os fundamentos de um sistema de alerta moderno: a ocorrência de chuvas intensas tornava os gestores atentos sobre a possibilidade de uma cheia; a informação vinda de Peixe Gordo incorporava parte das informações de um modelo hidrológico; o modelo hidráulico era substituído pelo conhecimento empírico do tempo de propagação da cheia desde Peixe Gordo até Quixeré. Obviamente, há limitações em termos de acertos nos níveis previstos e uma redução no tempo de previsão que se limitava ao tempo de deslocamento da onda de cheia. Hoje, com a construção do açude Castanhão, em Alto Santo, a cidade de Quixeré vive uma situação bem mais confortável com relação às enchentes

33.1.3. O PISF e a operação do sistema de adução

As águas aduzidas do PISF passam em seus caminhos por vários reservatórios de regularização de vazões construídos ao longo dos anos no âmbito da política de combate às secas. A prática nos sertões dos rios intermitentes é dar máxima prioridade à conservação dos estoques de água, para fins de regularização de vazões. Os benefícios de proteção contra as enchentes são marginais e decorrem, principalmente, do fenômeno natural do amortecimento das cheias.

No que concerne à adução de águas do PISF, o bombeamento deve parar quando há alta probabilidade que os reservatórios receptores venham a encher com as vazões naturais do rio barrado. Por exemplo, se no mês de março o reservatório X tem 90% de

² Os dados apresentados foram obtidos em visita técnica do Engenheiro Nilson Campos quando Diretor de Planejamento da COGERH à cidade de Quixeré. As informações foram dadas pelos técnicos da comunidade e líderes da sociedade.



probabilidade de extravasar, significa que as águas aduzidas para esses reservatórios têm 90% de probabilidade de não serem utilizadas. Essa ação implica, necessariamente, em perdas de energia, pois, nessa situação essas vazões estariam sendo bombeadas no rio São Francisco e sendo despejadas no Oceano. Um problema mais complexo, porém com a mesma lógica de operação, deve ser enfrentado quando as águas passam por um conjunto de reservatórios em série.

Vem agora a pergunta: o que fazer para evitar, ou reduzir os riscos, desses bombeamentos desnecessários? Para isso seria necessário o estabelecimento de curvas guias para o reservatório para fins de recepção das águas aduzidas. Deveriam ser traçadas curvas guias na escala de tempo mensal com a probabilidade de extravasamento em função do nível do reservatório. Em uma segunda etapa, seria formulada a regra de operação dos reservatórios em série, com avaliação da probabilidade de extravasamento do último reservatório antes do Oceano.

Como o sistema de alerta de enchentes, o sistema de operação da adução de águas poderia utilizar os recursos da previsão climática (O sistema de alerta contra enchentes faz uso da previsão de tempo³). A incorporação da previsão sazonal poderia ser feita utilizando-se os chamados modelos climáticos regionais.

A previsão climática com esses modelos já é feita pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) em parceria com International Research Institute for Climate and Society (IRI) da Universidade de Columbia em Nova Iorque, nos Estados Unidos. A previsão climática é feita com modelos climáticos aplicados em série: as condições de temperatura das superfícies do Oceano são os impulsos do modelo atmosférico de circulação global (AGCM – Atmospheric Global Circulation Model). Por sua vez, os resultados do AGCM tornam-se impulsos para o modelo regional espectral (RSM – Atmospheric Regional Spectral Model). Como produto final da previsão climática, obtém-se uma série de precipitações pluviárias, na escala diária, pelo período de duração da estação chuvosa.

³ Há diferenças conceituais em termos de previsão de tempo, que trabalha na escala de poucos dias e a previsão de clima que realiza a previsão na escala mensal. Ambas as escalas são trabalhadas no INPE e na FUNCEME.



A previsão do modelo em cascata pode aperfeiçoar as tomadas de decisões para realizar, ou não, o bombeamento de águas do São Francisco. De fato, essas previsões podem ser usadas para melhorar as curvas guias referidas anteriormente, aquelas com base somente no regime médio de escoamento.

Essa operação do sistema com estabelecimento das curvas guia para reservatórios em série, implica em reduzir, ou praticamente zerar, os impactos da transposição nas cheias das bacias dos médios vales (se houver). No ano 2000, o Ministério da Integração Nacional desenvolveu no âmbito do PISF um modelo de operação integrada dos açudes, contudo o componente relacionado às cheias não foi estudado.

33.1.4. Síntese

Os impactos da transposição de águas do rio São Francisco nas cheias e a construção de sistema de alerta que minimize as perdas nas cidades situadas às margens dos rios receptores motivaram a formulação PBA-33. Não é de se esperar, todavia, que as vazões transpostas tenham impacto significativo nas cheias, porém a formulação do Sistema de Alerta constitui-se em um elemento importante para a segurança das populações locais.

A identificação de áreas vulneráveis às cheias e, entre essas, as que podem ser impactadas pelo PISF, é necessária para selecionar os locais onde serão desenvolvidos os modelos em cascata (meteorológico, hidrológico e hidráulico) para sistemas de alerta de cheias.

Há diversos modelos de sistemas de alerta que podem ser construídos, desde os mais simples que foram praticados na década de 1990 na cidade de Quixeré, às margens do rio Jaguaribe, até os modelos altamente tecnológicos como o que está em construção para as bacias do rio Tietê e Piracicaba no Estado de São Paulo. A busca de um modelo intermediário compatível com os recursos e os dados existentes na região dos rios receptores é o desafio da PBA-33.

Ressalte-se ainda que a construção de um sistema com base em curvas guias e previsões climáticas regionais podem evitar onde, e se houver efeitos adversos do PISF nas cheias dos rios receptores. A construção desse modelo de operação do sistema não está



prevista nos PBAs, contudo essa pode ser considerada como uma das atividades primeiras e principais da instituição operadora do PISF.

33.2. Justificativa

Durante o processo de concessão da licença para o Projeto de Integração da Bacia do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional foram avaliados e propostos diversos programas. O Parecer técnico 15 do IBAMA⁴ estabelece:

Programa de Segurança e Alerta quanto às oscilações das vazões dos canais naturais que irão receber as águas transpostas, identificando as seções fluviais mais vulneráveis à ocorrência de variações bruscas e monitorando os transientes hidráulicos, respeitando as restrições nas áreas ribeirinhas, evitando acidentes com a população e animais;

Os sistemas de alerta são instrumentos universalmente empregados para salvar vidas humanas e minimizar os prejuízos ocasionados por enchentes nos cursos de água. Mesmo considerando que não haverá grandes impactos das vazões aduzidas nos níveis de cheias, os benefícios decorrentes de um sistema de alerta, articulado com um Programa de Operação do Sistema Adutor (Ainda não contratado) são importantes para minimizar, ou mesmo evitar impactos negativos do bombeamento nas cheias dos rios receptores.

Já é fato conhecido que às margens dos rios do Nordeste Setentrional há muitas cidades e povoados que sofrem periodicamente os efeitos das grandes enchentes. A criação de programas de alerta, mesmo restritos a algumas áreas dos rios receptores, deve ter efeito indutor para que os órgãos estaduais e municipais possam estendê-los para outras áreas mais vulneráveis por condições de cheias naturais.

33.3. Objetivos

O objetivo geral do PBA-33 é reduzir os impactos das cheias naturais nas bacias receptoras eliminando qualquer influência das vazões aduzidas. Como instrumento principal está prevista a elaboração de um sistema de alerta em escala reduzida, como piloto, capaz de comunicar antecipadamente as comunidades ribeirinhas sobre a

⁴ PARECER TÉCNICO Nº 15 /2007 – COHID/CGENE/DILIC/IBAMA



variação dos níveis d'água nos canais naturais em função da cheias decorrentes de eventos climáticos na região.

Mais especificamente, o programa visa:

- Minimizar as perdas decorrentes do bombeamento desnecessário em situações de cheias nas bacias receptoras;
- Estruturar e implementar modelos hidrológico-hidráulico para previsão de cheias nas bacias selecionadas nas cidades e povoados às margens dos rios receptores vulneráveis às enchentes naturais;
- Implementar sistema de alerta contra as cheias nas comunidades vulneráveis baseado nas informações dos modelos elaborados, na fase de operação do PISF, em articulação com os Estados.

33.4. Metas

As principais metas do PBA-33 são:

- Identificar as localidades e populações vulneráveis às cheias naturais nos rios receptores;
- Selecionar áreas mais vulneráveis (com superfície de aproximadamente 10.000 km²), para estruturação de sistemas de alerta de cheias no segmento hidrológico-hidráulico;
- Desenvolver um modelo de operação de reservatórios, na fase de implantação do sistema, de modo a evitar bombeamentos em situações de cheias nas bacias receptoras;
- Desenvolver modelo hidrológico-hidráulico para previsão de cheias, na fase de implantação e validar esse modelo na fase de operação do PISF.



33.5. Indicadores Ambientais

Os indicadores ambientais referem-se às áreas identificadas como vulneráveis às cheias nos rios receptores. Para essas áreas constituem-se em indicadores ambientais do Programa:

- Percentual de municípios estudados em relação aos municípios inseridos nas bacias receptoras, na fase de implantação do PISF;
- Número de alertas emitidos em relação aos eventos de cheias nas bacias receptoras, na fase de operação do PISF.

33.6. Público Alvo

O público-alvo do programa fruto deste relatório consiste nos habitantes das sedes municipais e distritos localizados às margens dos rios receptores e outras ocupações das áreas de várzeas, estendendo-se desde o deságüe das vazões aduzidas pelo sistema até o próximo reservatório de grande porte no respectivo rio.

A Figura 33.1 apresenta o quadro das sedes municipais e as respectivas populações urbanas beneficiadas pelo PBA-33 nos rios receptores, que totalizam 155.448 habitantes.

Figura 33.1. População urbana beneficiada (IBGE, 2010).

Município	Estado	População (hab.)
Milagres	CE	13.556
Aurora	CE	11.825
Lavras da Mangabeira	CE	18.132
Icó	CE	30.463
Jaguaribe	CE	23.268
Pau dos Ferros	RN	25.551
São Francisco do Oeste	RN	2.948
Taboleiro Grande	RN	1.887
Jardim de Piranhas	RN	10.596
Jucurutu	RN	10.567
São Bento	PB	25.040
Camalaú	PB	2.887
Caraúbas	PB	1.517
São Domingos do Cariri	PB	1.034
TOTAL		179.271



Além das populações urbanas, serão beneficiadas as pequenas localidades, propriedades rurais, áreas destinadas à agricultura e à pecuária, e pequenas indústrias. As áreas nas margens de rios beneficiadas são apresentadas a seguir, no Quadro 33.1.

Quadro 33.1. Trechos de rios beneficiados com a Transposição.

Rio / riacho	Bacia	Trecho	
		Início	Fim
Porcos	Jaguaribe	Reservatório Porcos	Confluência com o Rio Salgado
Salgado	Jaguaribe	Confluência com o Riacho Porcos	Confluência com o Rio Jaguaribe
Jaguaribe	Jaguaribe	Confluência com o Rio Salgado	Castanhão
Flechas	Apodi	Reservatório Angicos	Confluência com o Rio Apodi
Apodi	Apodi	Confluência com o Riacho Flechas	Reservatório Santa Cruz do Apodi
Piranhas	Piranhas Açú	Reserv. Engenheiro Ávidos	Confluência com o Rio do Peixe
Piranhas	Piranhas Açú	Confluência com o Rio do Peixe	Confluência com o Rio Piancó
Piranhas Açú	Piranhas Açú	Confluência com o Rio Piancó	Reserv. Armando Ribeiro Gonçalves
Muquem	Pajeú	Reservatório Muquem	Confluência com o Riacho Vassoura
Vassoura	Pajeú	Confluência com o Riacho Muquem	Reservatório Barra do Juá
Copiti	Moxotó	Reservatório Copiti	Reservatório Poço da Cruz
Mulungu	Paraíba	Reservatório Poções	Confluência com o Rio Monteiro
Monteiro	Paraíba	Confluência com o Riacho Mulungu	Confluência com o Rio Paraíba
Paraíba	Paraíba	Confluência com o Rio Monteiro	Reservatório Eptácio Pessoa

33.7. Metodologia e Descrição do Programa

O controle de cheias em margens de rios depende da execução de medidas estruturais e não estruturais aplicadas na combinação apropriada. No que se refere a medidas não estruturais, Todini (1998)⁵ recomenda a aplicação de quatro medidas integradas e em sequência:

- Identificação de áreas de alta incidência de enchentes e desenvolvimento de mapas de risco de inundação;

⁵ TODINI, E. The development of an operational decision support system for flood mapping. In: International Workshop on non structural flood control in urban areas Proceedings ABRH São Paulo 1998 p. 23-41



- Instalação de sistemas confiáveis de previsão e alerta que estabeleça um tempo de antecedência operacional de pelo menos seis horas (se possível mais de 12 horas);
- Definição de planos de emergência para situações de risco, elaboração de manuais específicos de conduta com informações para cada área, com a delimitação da área ameaçada, dos riscos envolvidos, as autoridades responsáveis, ações a realizar, e a população a alertar;
- Desenvolvimento de um sistema de suporte à decisão, com objetivo de centralizar as operações, elaboração de manuais específicos em uma unidade operacional e monitorar e coordenar as atividades dos grupos envolvidos nas ações para alívio dos efeitos das inundações.

Um Sistema de Alerta é formado por dois segmentos: o segmento tecnológico (dois primeiros itens) que avalia as condições meteorológicas, hidrológicas e hidráulicas e o segmento de operacional (dois últimos itens) no qual são tomadas as decisões e operacionalizadas as ações de divulgação e, se for o caso, a remoção das populações. O segmento tecnológico é o objeto do PBA-33 enquanto o segmento operacional está afeto à Defesa Civil e autoridades municipais.

O segmento tecnológico do Sistema de Alerta pode ser estruturado em três módulos: o módulo meteorológico, o módulo hidrológico e o módulo hidráulico.

A elaboração do projeto engloba as seguintes etapas:

- Identificação das áreas vulneráveis;
- Seleção de áreas vulneráveis para desenvolvimento dos sistemas tecnológicos;
- Concepção geral do Sistema de Alerta;
- Desenvolvimento do modelo Hidrológico/Hidráulico;



- Acoplamento aos modelos atmosféricos de previsão de tempo das instituições de meteorologia (INPE, FUNCEME);
- Elaboração do manual de funcionamento do modelo.

33.7.1. Identificação das áreas vulneráveis

Para identificar as áreas vulneráveis deverão ser feitas as seguintes atividades:

1. Organização cartográfica e bibliográfica sobre os históricos das cheias;
2. Pesquisa de campo nas cidades identificadas às margens dos rios receptores;
3. Entrevistas com moradores e autoridades municipais da defesa civil;
4. Mapeamento das áreas vulneráveis.

33.7.4.1. Organização cartográfica e revisão bibliográfica

Nessa atividade buscar-se-á ter uma visão geral da ocupação das várzeas ao longo dos rios receptores e das localidades vulneráveis às cheias de baixos períodos de retorno. A pesquisa inicial será em escritórios com os mapas mais atualizados com os temas hidrografia, corpos de água, populações e cidades/povoados.

Uma pesquisa na internet sobre cheias dá uma idéia inicial das cidades e localidades mais vulneráveis. Notícias das cheias mais recentes (2009 e 2008) podem ser encontradas na internet e dá indicação sobre o problema.

33.7.4.2. Pesquisa de campo

Com a identificação em escritório do conjunto de cidades mais vulneráveis será feito um plano de trabalho para visita a campo. As visitas devem ser bem planejadas de modo a propiciar um relatório preliminar de grau de vulnerabilidade das cidades.

Nessa atividade buscar-se-á ter uma visão geral da ocupação das várzeas ao longo dos rios receptores e das localidades vulneráveis às cheias de baixos períodos de retorno. A



pesquisa inicial será em escritórios com os mapas mais atualizados com os temas hidrografia, corpos de água, populações e cidades/povoados. Deverão ser feitas visitas a administração municipal e a defesa civil para avaliar o estado atual de preparação da comunidade para conviver com as secas.

33.7.4.3. Mapa de vulnerabilidade às cheias

Com os dados das visitas será elaborado um mapa de vulnerabilidade às cheias. A experiência da equipe de projeto é fundamental para o desenvolvimento do mapa. Será dada especial atenção às localidades dos médios vales com áreas de drenagem inferiores a 10.000 km². Em função das visitas a campos e das entrevistas será uma classificação da vulnerabilidade das localidades às cheias nos estratos alta, média e baixa.

33.7.2. Seleção de áreas para o projeto do sistema de alerta

A seleção das áreas para os sistemas de alerta será feita em função de características relacionadas à severidade das cheias e outros fatores identificados no projeto. O tamanho da área de drenagem da bacia hidrográfica, de aproximadamente 10.000 km², deve ser considerada na análise.

Para o desenvolvimento do sistema de alerta é importante a disponibilidade de informações climáticas e hidrológicas (Plataformas de Coletas de Dados, Pluviógrafos, Estações hidrométricas nos rios). A organização da defesa civil do local, com estrutura para o sistema de alerta operacional deve também ser incluída como critério de seleção.

Dessa forma, Para a seleção das áreas para o desenvolvimento do sistema de alerta deverá ser elaborada uma carta contendo as redes de coletas climáticas e hidrológicas das instituições federais e estaduais. As curvas chaves (relação entre vazão e nível das águas) dos rios do objeto do Sistema de Alerta devem ser coletadas e analisadas. Os dados mais atualizados podem ser conseguidos com a ANA e a CPRM.



33.7.3. Desenvolvimento do módulo meteorológico

À medida que diminui a área da bacia hidrográfica e, em consequência, os tempos de resposta, os sistemas de alerta necessitam informações meteorológicas mais sofisticadas e mais precisas, pois há predominância das águas pluviais recentes na formação das cheias. Pedrollo⁶ sugere uma classificação de tamanhos de bacias hidrográficas para fins de desenvolvimento de sistemas de alerta tendo em conta o tempo resposta da bacia.

- Bacias grandes (área > 10.000 km²) – Os níveis das águas das cheias a jusante podem ser obtidos a partir dos níveis a montantes, isto é, há predomínio da propagação das cheias sobre a contribuição pluvial;
- Bacias intermediárias (1.000 < área < 10.000 km²) – As previsões são feitas com base nas observações das precipitações já registradas. As precipitações no futuro têm menor importância;
- Bacias pequenas (área < 1.000 km²) – As precipitações futuras desempenham papel predominante e a previsão só é de boa qualidade quando às previsões das precipitações também forem de boa qualidade.

No sistema de alerta a ser desenvolvido para bacia da classe intermediária, a persistência da precipitação pluvial no padrão observado (tempo real) pode ser feita sem grandes problemas. Contudo a inserção da previsão de tempo feita pelas instituições meteorológicas (INPE, INMET, FUNCEME e outras) deve ser inserida para melhorar a previsão. Uma análise de sensibilidade no modelo hidrológico das precipitações futuras deverá ser procedida.

Em síntese, no módulo meteorológico serão definidas as precipitações pluviais passadas e futuras que irão alimentar o módulo hidrológico. Ressalte-se que a importância da qualidade da previsão de tempo, no horizonte do tempo de resposta da bacia, cresce com o inverso da área da bacia de drenagem.

⁶ Pedrollo, O. C. Previsão em tempo real em cheias com os usos de sistema especialista difuso. Tese submetida ao Instituto de Pesquisas Hidráulicas da universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.



33.7.4. Os módulos hidrológico e hidráulico

Os módulos hidrológico/hidráulico executam a função de transformar as precipitações pluviais, passadas e futuras, em um hidrograma de cheia nos pontos de controle. Dependendo do tamanho da bacia e da sua topologia é possível que para bacias intermediárias, como é o caso, a utilização do Programa HEC/HMS pode ser suficiente para a previsão dos níveis de água na bacia. Contudo, não deve ser descartada a possibilidade de ser necessária a aplicação do Programa HEC/RAS para avaliar a propagação da cheia.

A decisão de utilizar o HMS ou o par HMS/RAS, deve ser tomada após a seleção das bacias que irão receber o Sistema de Alerta. Depois dessa definição e do conhecimento da topologia da bacia, devem ser definidos os locais e tipos de levantamentos topográficos para descreverem a morfologia dos trechos dos rios.

33.7.4.1. O módulo hidrológico

O Programa HEC-HMS desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano é, certamente, o mais utilizado mundialmente para modelagem de enchentes em bacias hidrográficas de médio e grande porte. Os principais motivos para essa aceitação mundial são: 1) trata-se de um programa que vem sendo testado ao longo de mais de 50 anos; 2) é um programa de acesso livre; 3) as entradas de dados são amigáveis e proporciona uma gama de resultados que permitem análises mais circunstanciadas dos impactos de eventos hidrológicos.

O Programa HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center / Hydrologic Modeling System*) é capaz de simular os processos de transformação chuva-deflúvio em redes de bacias hidrográficas, podendo incorporar elementos tais como sub-bacias, trechos de rios, junções, reservatórios, desvios, fontes de vazão e sumidouros (USACE, 2000).

O Programa tem grande aplicabilidade em estudos hidrológicos de disponibilidade de água e avaliação de cheias em grandes e pequenas bacias, tanto naturais quanto



urbanas, uma vez que incorpora uma característica concentrada, qual seja a pluviometria, distribuindo seus efeitos pelas subdivisões da bacia em estudo.

A transformação da precipitação excedente em escoamento pode ser simulada através das metodologias do hidrograma unitário de Clark, SCS ou hidrogramas unitários especificados pelo usuário, além do método de Clark modificado e do método da onda cinemática.

Os dados de entrada do módulo de hidrologia são as características da bacia hidrográfica, como área, tipo de usos e ocupação do solo, tempo de concentração e os dados da chuva gerados no módulo meteorológico⁷.

33.7.4.2. O módulo hidráulico

A simulação hidráulica em estudos de cheias tem por finalidade a identificação das cotas de inundação ao longo dos rios e canais na área de interesse. Tal procedimento, usualmente realizado com modelos matemáticos, constitui-se da propagação do hidrograma previamente estimado com o modelo hidrológico na rede de drenagem.

O Programa HEC-HMS dispõe de vários métodos para a propagação dos hidrogramas em canais abertos, como: o do tempo de retardo, que não considera atenuação do hidrograma afluente, e métodos que incorporam o amortecimento da onda, como o tradicional de Muskingum, Muskingum-Cunge e onda cinemática.

Para o método Muskingum-Cunge, de princípio se será o aplicado, é necessário conhecer algumas características do rio como: comprimento do trecho, coeficiente de rugosidade de Manning, declividade médio do rio, forma da seção média (aproximada por um trapézio) e a cota de chegada na seção de controle.

Eventualmente, se houver predominância do processo hidráulico sobre o hidrológico, pode ser conveniente a aplicação do modelo hidrodinâmico para a propagação da cheia.

⁷ Descrição completa está em Campos, J.N.B. Lições em modelos e simulação hidrológica. ASTEF. Fortaleza, Ceará 2009.



Nesse caso, o Programa HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center / River Analysis System*) mostra-se a ferramenta adequada.

O RAS permite simulações hidráulicas unidimensionais tanto em escoamento permanente quanto em escoamento transiente em redes de canais naturais e/ou artificiais (USACE, 2001). Os resultados são apresentados em forma tabular ou através de gráficos, podendo-se dispor da geometria do rio, seções transversais, perfis, curvas-chave, hidrogramas, cotogramas e uma grande quantidade de variáveis hidráulicas.

33.7.4.3. Levantamentos topográficos necessários

A definição dos levantamentos de campo para obtenção de dados morfométricos dos rios deve ser feita após a concepção do sistema hidrológico/hidráulico para simular a bacia hidrográfica. No caso de aplicação do método Muskingum-Cunge apenas valores médios da seção transversal e do perfil longitudinal serão necessários. De qualquer maneira, uma visita a campo será necessária para obtenção desses dados.

Caso a aplicação do Programa RAS se mostre necessária, é necessário um levantamento da seção transversal do rio com espaçamento médio em torno de 200m, dependendo da forma da seção. Em trechos uniformes e longos um afastamento de 500m pode ser suficiente. Por outro lado, nos trechos com mudanças de seção ou de declividade, o levantamento deve ser menos espaçado de formas a captar essas singularidades.

33.7.5. Modelo de operação dos reservatórios

Trata-se de uma atividade a ser desenvolvida pelas agências estaduais de águas em parceria com a Instituição Gestora do PISF. O objetivo desse modelo é reduzir ao mínimo as perdas de energia com transposição de vazões desnecessárias e praticamente acabar com efeitos da transposição em cheias.

Trata-se de desenvolver um modelo conceitual de operação dos reservatórios, em escala de tempo mensal, que forneça indicações para paralisar o bombeamento das águas do São Francisco para os estados receptores.

O modelo deve indicar para cada mês uma relação entre o nível da água no reservatório e a probabilidade de vertimento. Em função dessas probabilidades os gestores devem decidir se paralisam, ou não, a adução de águas do São Francisco.

33.7.6. Fase de execução do PISF – Validação e calibração

Durante a fase execução do sistema, os modelos hidrológico e hidráulico serão executados com os parâmetros estimados com base nas características físicas das bacias hidrográficas e em uma pequena quantidade de dados.

Há, contudo, uma rede hidrometeorológica em operação que permitirá, ao longo do tempo, a obtenção de dados de simultâneos de precipitação e de vazão que propiciarão condições para uma melhor calibração do modelos e também para sua validação.

O funcionamento de um radar meteorológico que se em fase final de instalação em Quixeramobim, no Estado do Ceará, será de fundamental importância para o aperfeiçoamento dos modelos que formam o sistema de alerta do eixo Norte.

O aperfeiçoamento do modelo com etapas de calibração e validação é contínuo. À medida que aumenta a quantidade de dados, melhor se consegue calibrar e validar os parâmetros do modelo. Espera-se, entretanto, que após cinco anos de obtenção de dados de chuva e vazão na calha do rio, já se possa fazer realizar uma calibração e validação mais precisa.

Trata-se de uma atividade a ser desenvolvida pelas agências estaduais de águas em parceria com a Instituição Gestora do PISF. O objetivo desse modelo é reduzir ao mínimo as perdas de energia com transposição de vazões desnecessárias e praticamente acabar com efeitos da transposição em cheias.

33.8. Relação com outros Programas

Para ser implementado e operado com eficiência, o PBA-33 deverá dispor de informações relacionadas à operação do sistema de adução, para, através de simulações hidrológicas e hidráulicas, identificar áreas inundáveis e comunicar as comunidades afetadas. Assim, este se relaciona com os seguintes programas integrantes do Projeto de



Integração da Bacia do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional:

Plano de Operação e Manutenção: O planejamento sobre a possibilidade ou não de acionamento do sistema de adução e, conseqüentemente, do acionamento do sistema de alerta em determinado período terá como subsídios as informações de operação do sistema de adução, fornecidas pelo Plano de Operação e Manutenção, estabelecido pela operadora prevista no PBA 29.

-Programa de Monitoramento do Sistema Adutor: Uma vez identificado o bombeamento a partir do rio São Francisco, o Programa de Monitoramento deverá indicar as variações de níveis d'água em reservatórios receptores e as vazões liberadas por estes, possibilitando se estimar as áreas inundáveis ao longo dos leitos naturais a jusante destes reservatórios.

Programa de Comunicação Social: As informações geradas a partir do Programa de Segurança e Alerta sobre áreas inundáveis deverão ser divulgadas junto às comunidades ribeirinhas com eficiência e grande abrangência. Esta se constitui em função do Programa de Comunicação Social, relacionado, portanto, diretamente com o programa objeto deste relatório.

Além dos programas já mencionados, também terão relação com o Programa de Segurança e Alerta aqueles que dizem respeito a ocupações nas margens dos rios receptores, uma vez que a regulamentação de uso dessas áreas será objeto deste programa. Assim, o Programa de Segurança e Alerta, através da determinação de usos possíveis em áreas inundáveis, dará subsídio à implementação de programas tais como: Programa de Relocação das Infra-Estruturas a serem Afetadas pela Implantação do Empreendimento; Programa de Indenização de Terras e Benfeitorias; Programa de Reassentamento de Populações; Programa de Apoio Técnico às Prefeituras e Programa de Fornecimento de Água e Apoio Técnico para Pequena Atividade de Irrigação.



33.9. Instituições Envolvidas na Implantação e Operação do Programa

Especialmente por necessitar de dados meteorológicos em tempo real e produzir informações que devem ser divulgadas rapidamente entre as comunidades situadas nas margens dos rios receptores, o PBA-33 nos Rios Receptores deverá contar com a colaboração de diversas entidades federais e estaduais, cujas funções estão apresentadas a seguir:

ANA (Agência Nacional de Águas): instituição federal responsável pela implementação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, deverá disponibilizar as informações hidrológicas e climáticas na região de estudo, de forma que se possa regulamentar o uso das várzeas com base em tempos de recorrência de precipitação pré-determinados;

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais): instituição federal cujo objetivo é promover e executar estudos, pesquisas científicas, desenvolvimento tecnológico e capacitação de recursos humanos, nos campos da Ciência Espacial e da Atmosfera, das Aplicações Espaciais, da Meteorologia e da Engenharia e Tecnologia Espacial, deverá compartilhar dados meteorológicos, tais como previsões de tempo, indispensáveis para a realização dos estudos hidrológicos;

FUNCEME (Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos): a FUNCEME, instituição estadual que atua nas áreas de Recursos Ambientais, Meteorologia, Monitoramento Ambiental e Recursos Hídricos, deverá ser convidada a participar do programa, assim como a ANA, através da disponibilização de informações hidrológicas e climáticas no estado do Ceará, bem como a realização de estudos sobre cheias na região;

Operadora do SISF (Sistema Integrado do São Francisco): sendo responsável pela operação do sistema de adução, esta deverá disponibilizar as informações sobre o planejamento de tal operação e as vazões bombeadas nos diversos trechos do sistema.

COGERH (Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará): instituição estadual responsável pelo gerenciamento e disciplinamento de cerca de 90% das águas acumuladas no Estado, deverá participar através da disponibilização de estudos hidrológicos e dos volumes acumulados nos reservatórios receptores.



IGARN (Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte): assim como a COGERH, essa instituição estadual, responsável pela gestão técnica e operacional dos recursos hídricos em todo o território norte-rio-grandense, deverão participar do Programa de Segurança e Alerta disponibilizando estudos hidrológicos e informações sobre volumes acumulados nos reservatórios receptores.

SERHID (Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos): atualmente é função da SERHID o monitoramento dos volumes acumulados nos reservatórios do Estado do Rio Grande do Norte, devendo esta secretaria contribuir com tais informações para o programa.

LMRS (Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba): instituição estadual com o objetivo de monitorar o tempo, clima, recursos hídricos e recursos naturais do estado da Paraíba, além de realizar previsões e desenvolver aplicações nestas áreas, deverá contribuir, também, com informações sobre a situação volumétrica dos reservatórios receptores e estudos hidrológicos na região.

SINDEC (Sistema Nacional de Defesa Civil): a atuação da Defesa Civil se dá nas três esferas de Governo – federal, estadual e municipal – e tem como objetivo reduzir desastres, compreendendo ações de prevenção, de preparação para emergências e desastres, de resposta aos desastres e de reconstrução. No âmbito deste programa, a Defesa Civil atuará de forma preventiva, sendo imprescindível a atuação das Coordenadorias Estaduais dos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, e em especial, dos órgãos municipais de defesa civil, no alerta às comunidades ribeirinhas e desocupação das várzeas inundáveis.

Rádios comunitárias: as rádios comunitárias, meios de comunicação capazes de abranger uma grande parcela da população, se constituem em importante meio de divulgação de informações. Assim, estas deverão atuar de forma intensa no alertar à população sobre afluência de vazões provenientes do São Francisco e sobre as cotas estimadas de inundação.

Prefeituras: as prefeituras das sedes dos municípios localizados nas margens dos trechos de rios contemplados deverão participar do Programa de Segurança e Alerta através da divulgação de informações sobre a previsão de elevação dos níveis d'água.



33.10. Atendimento aos Requisitos Legais

O Programa de Segurança e Alerta atende à legislação Federal e dos Estados no que diz respeito aos recursos hídricos. Dentre as principais leis e decretos citam-se:

Lei Federal 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;

Lei Estadual (Ceará) 11.996, de 24 de julho de 1992, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH e dá outras providências;

Lei Estadual (Paraíba) 6.308, de 02 de julho de 1996, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências;

Lei Estadual (Rio Grande do Norte) 6.908, de 01 de julho de 1996, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos (SIGERH) e dá outras providências;

Decreto Federal 5.376, de 17 de fevereiro de 2005, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil (SINDEC) e o Conselho Nacional de Defesa Civil, e dá outras providências;

Decreto Estadual (Paraíba) 19.258, de 31 de outubro de 1997, que regulamenta o controle técnico das obras e serviços de oferta hídrica e dá outras providências;

Decreto Estadual (Rio Grande do Norte) 13.284, de 22 de março de 1997, que regulamenta o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos (SIGERH), e dá outras providências.

33.11. Recursos Necessários

O programa aqui abordado consiste basicamente em estudos hidrológicos e hidráulicos e produção de informações a serem divulgadas para as populações atingidas por variações dos níveis das águas. Dessa forma, são necessários os seguintes recursos humanos e materiais para implantação do mesmo:



- Técnicos especializados: os estudos hidrológicos e simulações hidráulicas deverão ser realizados por técnicos especializados (sugere-se capacitação mínima de mestrado em recursos hídricos) com experiência em estudos dessa natureza;
- Recursos de armazenamento e tratamento de dados: para arquivar e processar os dados meteorológicos e simular os processos de transformação chuva-deflúvio e de propagação do hidrograma gerado nos leitos dos rios;
- Modelos hidrológico e hidrodinâmico: os programas computacionais hidrológico e hidrodinâmico aqui propostos (HEC-HMS e HEC-RAS, respectivamente) são de domínio público e estão disponíveis de forma gratuita na página do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos na internet: www.hec.usace.army.mil;
- Sistema de comunicação e difusão: um sistema de comunicação eficiente é imprescindível para a operação do programa, devendo o mesmo possibilitar a rápida interação com as entidades responsáveis pela divulgação das informações produzidas (Prefeituras, Defesa Civil e rádios locais).

33.12. Cronograma Físico

O PBA-33 deverá estar pronto para operação em um prazo de oito meses a partir do início das atividades. O cronograma que descreve as atividades que compreendem este programa e identifica o período para sua realização é apresentado em anexo.

33.13. Responsáveis pela Implementação do Programa

O Ministério da Integração Nacional é responsável pela execução do PBA-33.

33.14. Responsáveis pela Elaboração do Programa

Prof. José Nilson B. Campos será o Consultor responsável



33.15. Bibliografia

ANA (2005). Resolução nº 029, de 18 de janeiro de 2005.

BRASIL. Decreto nº 5.376, de 17 de fevereiro de 2005. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINDEC e o Conselho Nacional de Defesa Civil, e dá outras providências. Brasília, DF. 2005.

BRASIL. Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional – Estudo de Impacto Ambiental – EIA. Ministério da Integração, Brasília, DF. 2004.

BRASIL. Manual de Segurança e Inspeção de Barragens. Ministério da Integração Nacional, Brasília, DF. 2002.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal. Brasília, DF. 1997.

CEARÁ. Lei nº 11.996, de 24 de julho de 1992. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH e dá outras providências. Fortaleza, CE. 1992.

FUNCATE. Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional. Projeto Básico: Eixo Norte – Trecho II – Complementação. São José dos Campos, SP. 2003.

FUNCATE. Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional. Projeto Básico: Eixo Norte – Trecho II. São José dos Campos, SP. 2001.

FUNCATE. Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional. Projeto Básico: Eixo Leste – Trecho V. São José dos Campos, SP. 2001b.



FUNCATE. Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional. Projeto Básico: Eixo Norte – Trecho I. Consórcio ENGECORPS/HARZA, São Paulo, SP. 2000.

IBGE. Censo Demográfico. www.ibge.gov.br. 2010.

PARAÍBA. Decreto nº 19.258, de 31 de outubro de 1997. Regulamenta o controle técnico das obras e serviços de oferta hídrica e dá outras providências. João Pessoa, PB. 1997.

PARAÍBA. Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, suas diretrizes e dá outras providências. João Pessoa, PB. 1996.

RIO GRANDE DO NORTE. Decreto nº 13.284, de 22 de março de 1997. Regulamenta o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH, e dá outras providências. Natal, RN. 1997.

RIO GRANDE DO NORTE. Lei nº 6.908, de 01 de julho de 1996. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos - SIGERH e dá outras providências. Natal, RN. 1996.

USACE. River Analysis System HEC-RAS – Hydraulic Reference Manual. Hydrologic Engineering Center, Davis-CA. 2001.

USACE. Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical Reference Manual. Hydrologic Engineering Center, Davis-CA. 2000.



