

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO
GRANDE DO SUL**

**INSTITUTO DE PESQUISAS
HIDRÁULICAS**

**VALORAÇÃO INDIRETA DA ÁGUA: APLICAÇÃO NA
BACIA DO RIO CORURIBE - ALAGOAS**

Thiago Alberto da Silva Pereira

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Carlos André Bulhões Mendes

Banca Examinadora: Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira (IPH – UFRGS)
Prof. Dr. David da Motta Marques (IPH – UFRGS)
Prof. Dr. Jaildo Santos Pereira (UFRB)

Porto Alegre, RS - Brasil
Janeiro de 2010

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais.
E a minha noiva.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre me auxiliar nos momentos mais difíceis, me dando força e determinação para vencê-los.

Aos meus pais por todo apoio e confiança depositados em mim.

Ao meu orientador Professor Carlos André.

A minha noiva Roberta, por toda compreensão e amor no período do mestrado.

Ao amigo Jaildo Santos Pereira por toda atenção que recebi dele.

Ao professor Roberaldo por me fazer iniciar na pesquisa científica.

Aos integrantes da colônia alagoana em Porto Alegre que levou momento de alegria, durante o período do mestrado: Fabinho, Diogo e Nilson, Paulinho e Rosane, Ruberto e Regina, Chris e Dani, Sidnei e Karina.

Aos amigos que cultivei na receptiva Porto Alegre: Angélica, Ester, Fabrício (Baiano), Leandro, Chico, Fausto, Adriano “Funil”, Ibraim, Frederico “Cabidão”, Anderson, Fabiano, Rodrigo, Fabrício de Paoli, Margarita, Federico, Juan Martin, Guilherme “Dedo”, Rafael “Emo” e outros que não me recordo no momento.

Ao meu tio “Tonho” (in memorian), que onde quer que esteja, estará vibrando por mim.

A todos os meus amigos e familiares.

A todos os professores do IPH que tiveram participação na minha vida acadêmica.

A todos que de alguma forma contribuíram para a concretização desta etapa da minha vida

RESUMO

A água é um bem necessário para que haja vida no planeta, no entanto, este bem é considerado em algumas regiões como escasso, finito e dotado de valor econômico, sendo importante atribuir um valor ao seu uso. O valor direto da água pode ser estimado através de técnicas de construção das curvas de oferta e demanda na procura do equilíbrio entre elas. Por outro lado, salienta-se que existe também o efeito indireto da intervenção do usuário na bacia associado à modificação da forma do hidrograma (devido a apropriação de uma demanda hídrica comprometendo a disponibilidade hídrica) e localização dos pontos de demanda e/ou lançamento de efluentes que causam impactos em todos os usuários localizados na bacia. Porém, existe uma dificuldade em avaliar (valorar) estes efeitos indiretos da água, haja vista que estes aspectos (sazonal e locacional) não são considerados nas experiências brasileiras em valoração pelo uso da água. Mostra-se assim, a importância de realização de estudos que subsidiem cálculo destes critérios. Diante disso, este trabalho visou desenvolver uma nova proposta metodológica para estimar os valores indiretos da água, a partir da análise crítica da literatura, neste contexto realizou, a simulação do método proposto (MRC) numa situação hipotética e na Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe – Alagoas e, fazendo aplicação deste modelo em gestão de recursos hídricos (cobrança e outorga). Os resultados das simulações do método proposto na Bacia do Rio Coruripe mostraram-se bastante adversos em função da temporalidade e localização, apresentando valor com amplitude de 2000 unidades. As arrecadações médias mensais oriundas da aplicação em cobrança pelo uso da água apresentaram uma elevada variação em relação a meses úmidos e secos, mantendo-se constante os volumes captados. Na aplicação em outorga dos usos dos recursos hídricos foi introduzida uma inovação ao definir limites outorgável variável no tempo. Estes limites foram comparados com a demanda hídrica e mostrou-se que a maioria dos pontos de captação de água para irrigação naquela bacia não atende o limite outorgável, sendo necessária à aplicação na região de estudo de técnicas de irrigação mais eficiente. A partir das aplicações realizadas percebe-se que o método proposto tem uma aplicação vasta podendo de ser útil não apenas nas definições de critérios de cobrança pelo uso da água; como também em processo de outorgas e licenciamento ambiental, dando ênfase a integração desses dois instrumentos.

Palavras-chave: gestão de recursos hídricos; valoração indireta da água, Bacia do Rio Coruripe - AL.

ABSTRACT

Water is a necessary economic good that there is life on the planet, however, and it is considered in some regions as scarce and finite resource with economic value, it is important to assign a value to use. The direct value of water can be estimated by techniques of construction of the curves of supply and demand in the search for balance between them. Furthermore, note that there is also the indirect effect of the intervention of the user in the basin associated with the change in shape of the hydrograph (due to ownership of a water demand affecting water availability) and locations of demand and / or launch effluent that impacts on all users located in the basin. However, there is a difficulty in evaluating (appraising) these indirect effects of water, as that these aspects (seasonal and locational) are not considered in the Brazilian experience in valuation of water use. It is apparent also, the importance of studies to support in calculating these criteria. So this work aimed to develop a new methodology for the estimation of indirect water from the review of the literature in this connection held, the simulation of the proposed method (MRC) in a hypothetical situation and River Basin Coruripe -- Alagoas and making application of this model in water resources management (payer water and grants). The results of simulations of the proposed River Basin Coruripe were very adverse function of temporality and location, with the value range of 2000 units. The average monthly of payers coming from the application fees for the use of varied around R\$ 5.10^7 a month for the wet months and $2,5.10^8$ R\$/month during the dry season, keeping constant the volumes obtained. In the grant application to the uses of water resources was an innovation introduced to set limits bestowable variable in time. These limits are compared with the water demand and showed that most of the points of abstraction for irrigation in the basin does not meet the threshold bestowable, requiring the application in the study of irrigation techniques more conservationist. From the applications provided it can be seen that the proposed method has a wide scope can be useful not only in the definitions of criteria for payer for water use, but also in the process of licenses and environmental permits, emphasizing the integration of these two instruments .

Keywords: water resources management; indirect valuation of water, River Basin Coruripe - AL.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	II
AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	IV
ABSTRACT	V
SUMÁRIO	VI
LISTA DE SIGLAS	VIII
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XI
1 APRESENTAÇÃO	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 JUSTIFICATIVA	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
1.4 ESTRUTURA DO TEXTO	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS	4
2.1.1 OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA	4
2.1.2 LICENCIAMENTO AMBIENTAL	10
2.1.3 COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA.....	10
2.2 NOÇÕES DE MICROECONOMIA	18
2.3 ATRIBUIÇÃO DE VALORES ECONÔMICOS.....	20
2.3.1 ANÁLISE ECONÔMICA DA ÁGUA.....	21
2.4 USO DE MODELOS DE OTIMIZAÇÃO NO PROCESSO DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS ...	29
2.5 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICAS	30
2.5.1 MODELO NUMÉRICO DO TERRENO.....	32
2.6 REGIONALIZAÇÕES DE VAZÕES.....	32
3 DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA	34
3.1 FORMULAÇÃO DA METODOLOGIA.....	34
3.1.1 PARCELA DA LOCALIZAÇÃO (MRC _{LOCAL}).....	35
3.1.2 PARCELA DA SAZONALIDADE (MRC _{TEMP})	39
3.2 EXEMPLO DE APLICAÇÃO.....	51

3.2.1 SIMULAÇÃO NOS MODELOS DA LITERATURA.....	51
3.2.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	53
3.2.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO DAS RAZÕES COMBINADAS	60
<u>4 CASO DE ESTUDO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CORURIFE – AL</u>	63
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	63
4.1.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS.....	63
4.1.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	64
4.1.3 CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS.....	65
4.1.4 REDE HIDROMÉTRICA.....	66
4.1.5 USUÁRIOS E DEMANDAS HÍDRICAS.....	67
4.2 SIMULAÇÃO NA BACIA.....	69
4.2.1 COLETA DE DADOS	70
4.2.2 RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
4.3 APLICAÇÕES DO MODELO	80
4.3.1 COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA.....	80
4.3.2 OUTORGA DE DIREITO DE USO DA ÁGUA.....	82
<u>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>	89
<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	92
<u>ANEXO A</u>	96
<u>ANEXO B</u>	100

LISTA DE SIGLAS

SEMARH – Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos

ANA – Agência Nacional de Águas

CEIVAP – Comitê de Integração do Vale do Paraíba do Sul

PPU – Preço Público Unitário

PCJ – Bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá

SRH – Superintendência de Recursos Hídricos

CBHSF – Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

GAMS – General Algebraic Modeling System

SIG – Sistema de Informações Geográficas

MNT – Modelo Numérico do Terreno

MRC – Método de Razões Combinadas

MRC_{local} – Parcela Locacional do Método de Razões Combinadas

MRC_{temp} – Parcela Temporal do Métodos das Razões Combinadas

PDRH – Plano Diretor de Recursos Hídricos

IR – Ponto de Estudo com Demanda de Irrigação

BAR – Ponto de Instalação da Barragem Coruripe I

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Definição de impacto ambiental. Fonte: Mendes (2007).	11
Figura 2.2- Os preços da água. Fonte: Pereira (2002).	14
Figura 2.3 - Curvas de oferta e demanda.	19
Figura 2.4 – Componente do valor da água (Seyam <i>et al.</i> , 2002).	24
Figura 2.5 – Valor direto e indireto da água.	24
Figura 2.6 - Vazões de entrada, saída e armazenamento; valores de entrada, saída e de armazenamento.	27
Figura 3.1 – Fluxograma de Atividades.	34
Figura 3.2 - Metodologia utilizada.	35
Figura 3.3 – Esquema dos pontos de estudo com as sub-bacias.	36
Figura 3.4 – Área da bacia e os pontos de estudo.	37
Figura 3.5 - Área de influência do ponto 2, número de pontos de estudo à jusante do ponto estudado (2) e número de pontos de demanda inseridos na área de influência (3).	37
Figura 3.6 – Área a jusante ao ponto 2.	38
Figura 3.7 - Área á jusante do ponto mais próximo à jusante.	38
Figura 3.8 – Curva volume x área da barragem situado no ponto 2.	44
Figura 3.9 – Tabela para uso do comando solver.	46
Figura 3.10 – Vazões afluentes, efluentes e armazenamento no ponto 2.	46
Figura 3.11 - Resultados dos modelos simulados para o ponto 3.	53
Figura 3.12 – Resultados dos modelos simulados para o ponto 2.	58
Figura 3.13 - Resultados dos modelos para o ponto 1	58
Figura 3.14 - Resultados dos modelos simulados para exutório.	58
Figura 3.15 - Uso do modelo de razões combinadas (MRC) para os pontos de estudo.	60
Figura 3.16 – Análise do ponto 1 para os cenários utilizados.	61
Figura 3.17 - Análise do ponto 2 para os cenários utilizados.	62
Figura 3.18 - Análise do ponto 3 para os cenários utilizados.	62
Figura 4.1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Coruripe.	64
Figura 4.2 Uso do Solo na Bacia do Coruripe no ano 2000 (Carvalho, 2006).	65
Figura 4.3 – Regime médio pluviométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe.	66
Figura 4.4 - Localização dos postos pluviométricos e fluviométricos.	68
Figura 4.5 - Esquema dos Pontos de Captação/Estudo.	70
Figura 4.6 - Postos pluviométricos e polígono de Thiessen.	71
Figura 4.7 - MNT da Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe.	72
Figura 4.8 – Classificação quanto à infiltração no solo da Bacia do Coruripe. (Adaptado de Carvalho, 2006).	72
Figura 4.9 - Curva volume x área da barragem Coruripe I.	74
Figura 4.10 – Vazões naturais e regularizadas na Barragem Coruripe I.	74
Figura 4.11 – Discretização da Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe e suas regiões.	76
Figura 4.12 – Simulação no rio Coruripe trecho alto.	76

Figura 4.13 - Simulação no rio Coruripe trecho médio.....	77
Figura 4.14 – Simulação no rio Coruripe trecho baixo	77
Figura 4.15 - Simulação nas nascentes do alto Coruripe.....	78
Figura 4.16 - Simulação nas nascentes do baixo Coruripe.	79
Figura 4.17 - Simulação nos afluentes do rio Coruripe.....	79
Figura 4.18 – Arrecadações mensais média.....	81
Figura 4.19 – Arrecadações totais anuais.	82
Figura 4.20 – Aplicação no rio Coruripe trecho alto	84
Figura 4.21 - Aplicação no rio Coruripe trecho médio.	84
Figura 4.22 – Aplicação no rio Coruripe trecho baixo.....	84
Figura 4.23 - Aplicação nas nascentes do alto Coruripe.	85
Figura 4.24 - Aplicação nas nascentes do baixo Coruripe.....	85
Figura 4.25 - Aplicação nos afluentes do rio Coruripe.	86
Figura 4.26 – Aplicação do MRC em outorga (Ponto BAR).....	87
Figura A.1 – Aplicação do MRC em outorga nos pontos H1, H2, H3, A1, A2 e A3.	96
Figura B.1 – Descrição dos arquivos e programas utilizados neste trabalho.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Aspectos gerais da outorga na Lei Federal 9.433/97.....	6
Tabela 2.2 - Outorga dos recursos hídricos em alguns Estados do Brasil.....	9
Tabela 2.3 – A cobrança pelo uso da água nas legislações federais.	12
Tabela 2.4 – Valores da tarifas usadas no Ceará.	15
Tabela 3.1 – Cálculo da parcela locacional do modelo proposto.	36
Tabela 3.2 – Pluviometria da região hipotética.	44
Tabela 3.3 – Resultados da otimização.	47
Tabela 3.4 – Demanda e tipo de usuários dos pontos de estudo.	47
Tabela 3.5 – Pré-processamento dos dados	49
Tabela 3.6 – Cálculo do modelo proposto para o exemplo hipotético.....	51
Tabela 3.7 – Modelos de Seyam <i>et al.</i> , 2003.	57
Tabela 4.1– Postos pluviométricos na região (Carvalho, 2006).....	67
Tabela 4.2- Inventário das Estações Fluviométricas.....	67
Tabela 4.3 - Pontos de Captação (PC).....	68
Tabela 4.4 – Atribuições do coeficiente de escoamento.	72
Tabela 4.5 – Característica da Barragem Coruripe I.....	73
Tabela 4.6 - Evaporação na Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe (Pereira, 2007).....	73

1 APRESENTAÇÃO

1.1 Introdução

A preocupação com o meio ambiente é tema recorrente nas agendas dos governantes de todo o mundo, destacando-se a água. A água é recurso escasso, finito e dotado de valor econômico; sendo necessário geri-la de forma racional. Atualmente, para atingir esta gestão racional, utilizam-se no Brasil técnicas de gerenciamento de demanda, como: outorgas, tomada de decisões negociadas, licenciamentos ambientais, subsídios, incentivos econômicos, multas, além da valoração da água através da cobrança pelo uso da água. Salienta-se que são usuais também, técnicas de gerenciamento de ofertas como construções de barragens que visam regularizar as vazões com o objetivo de atender as demandas dos usuários, frente à variabilidade da disponibilidade hídrica do regime natural.

Entre as várias possibilidades na procura por uma gestão racional, destaca-se neste trabalho a valoração econômica da água. Mostrando o papel da economia como gerenciador de recursos escassos (neste caso a água) induzindo mudanças comportamentais dos usuários com o intuito de garantir a minimização dos consumos e da poluição. Com isso faz-se uso da cobrança pelo uso da água, instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos - Lei Federal de n.º 9.433/97, que tem o objetivo de reconhecer a água como bem econômico, incentivar a racionalização do uso da água e financiar programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos. São passíveis de cobrança todos os usos sujeitos a outorga de uso dos recursos hídricos. A outorga de direitos dos recursos hídricos incide entre outros usos, na captação de parcela da água em um rio e usos que alterem o regime em um corpo de água.

Salienta-se que existe uma parcela do valor da água relacionada ao efeito indireto da ação dos usuários (captação, lançamento de efluentes e estruturas de reservação) associado à: localização geográfica, ou seja, usuários nas cabeceiras de bacias hidrográficas influenciam todos os usuários a jusante e a modificação na forma do hidrograma, atenuando os períodos de estiagem e amortecendo os picos de cheias.

Assim, o instrumento da cobrança deve ser aplicado levando em consideração entre outros fatores: a sazonalidade, a localização do usuário na bacia hidrográfica e modificação realizada no hidrograma natural do corpo de água, porém a realidade em cobrança pelo uso da água no Brasil não contempla estes aspectos. Logo, é imprescindível a definição de critérios de cobrança pelo uso da água que ponderem as características sazonais e as espaciais, sinalizando que a água nos períodos mais secos possui um valor maior, como também nas áreas a montante.

1.2 Justificativa

A importância da definição de critérios espaciais e sazonais de cobrança pelo uso da água deve-se, principalmente à Política Nacional de Recursos Hídricos, a qual menciona que os usos que alterem o regime hidrológico são passíveis de cobrança (Brasil, 1997). Este instrumento de gerenciamento de recursos hídricos, segundo a Resolução nº. 48 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos de 2005, deve ser aplicado levando em consideração a sazonalidade e a localização do usuário na bacia hidrográfica, entre outros fatores.

A experiência brasileira em aplicação da cobrança pelo uso da água é ainda incipiente (Pereira, 2007) e a maioria dos mecanismos de cobrança utilizados não levam em consideração os aspectos temporal e espacial, como também a modificação realizada no hidrograma natural do corpo de água. Alguns trabalhos acadêmicos fazem menção ao coeficiente de temporalidade e espacialidade em relação à cobrança pelo uso da água, porém de forma arbitrária (Ribeiro *et al.*, 1998). Assim, a metodologia aqui proposta busca minimizar a lacuna do cálculo destes critérios de forma embasada levando-se em consideração as características da região.

1.3 Objetivos

Diante do exposto, o presente estudo visa responder a seguinte indagação: É possível estimar critérios de cobrança pelo uso da água em função da temporalidade e espacialidade do ponto estudado?

Desta forma, este trabalho objetiva desenvolver e implementar, tendo como estudo de caso a Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe – AL, uma metodologia para encontrar critérios de cobrança pelo uso da água em função das alterações realizadas no regime hidrológico, levando-se em consideração os aspectos temporais e espaciais, e complementarmente fazer uma aplicação deste modelo em outorga de direitos de uso da água.

1.4 Estrutura do texto

No capítulo 2 é apresentada uma revisão da literatura sobre os aspectos institucionais e legais da cobrança pelo uso da água e outorga de direito de uso dos recursos hídricos, como também do valor da água dando ênfase a parcela indireta; além de uma breve descrição dos modelos de otimização, do uso de técnicas de geoprocessamento e regionalização em recursos hídricos. No capítulo 3 será descrito o desenvolvimento da metodologia, com a aplicação em exemplos hipotéticos para melhor compreensão do modelo proposto. O capítulo 4 apresenta as informações gerais da bacia hidrográfica do rio Coruripe, os dados coletados e análises dos resultados quando da simulação do modelo proposto nesta bacia; e as aplicações em cobrança

pelo uso da água e outorga dos direitos dos recursos hídricos. As conclusões e as recomendações estão no capítulo 5, seguido das referências bibliográficas no capítulo 6. Os anexos estão em forma digital num disco, onde estão inserido todas as planilhas que foram usadas para desenvolvimento deste trabalho. Neste documento, porém é mostrada a disposição dos diretórios neste disco.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica buscou levantar aspectos pertinentes ao planejamento de recursos hídricos, dando ênfase aos seus instrumentos, sobretudo à outorga de direitos dos seus direitos e cobrança pelo uso da água. Serão expostas noções de microeconomia, conceito de valor da água (principalmente o valor indireto), fundamentando também o uso de modelos de otimização, sistemas de informações e regionalizações de vazões que apóiam o processo de gestão dos recursos hídricos, servindo de base para a metodologia proposta.

2.1 Planejamento de Recursos Hídricos

O crescimento populacional aliado ao desenvolvimento econômico aumenta a demanda de água e diminui a sua oferta, quer seja em aspecto quantitativo como qualitativo. Essa situação acarreta conflitos pelo uso da água, como escassez hídrica e poluição desenfreada. Neste contexto, o planejamento de recursos hídricos aparece como figura importante para dirimir estes conflitos. O planejamento de recursos hídricos, segundo Lanna (1999), é um conjunto de ações que visam adequar o uso, o controle e o grau de proteção dos recursos hídricos às aspirações sociais e/ou governamentais, através da coordenação, compatibilização, articulação e/ou projetos de intervenções, onde se leva em consideração o caráter de uso múltiplo da água.

O Planejamento de recursos hídricos na procura de uma gestão racional faz uso de técnicas de gerenciamento de demanda, como: outorgas, cobrança, tomada de decisões negociadas, licenciamentos ambientais, subsídios fiscais, incentivos econômicos, multas. O cenário de planejamento de recursos hídricos no Brasil é marcado pela Lei das águas (Lei 9.433/97) que tem como objetivo principal assegurar às gerações atuais e futuras disponibilidade de água em padrões de qualidade adequada. Para buscar efetividade no seu objetivo, a Lei prevê instrumentos de gestão de recursos hídricos como tal: outorga de direitos de uso da água, cobrança pelo uso da água, sistema de informação em recursos hídricos, enquadramento de corpos de águas e Planos de Recursos Hídricos. Neste item procurou-se levantar aspectos relacionados aos instrumentos de gestão de recursos hídricos utilizados neste trabalho (outorga de direito do uso da água e cobrança pelo uso da água).

2.1.1 Outorga de Direito de uso da água

A Constituição Federal de 1988, em seu artigo 21, no inciso XIX determina que compete a União instituir o Sistema Nacional de Recursos Hídricos e definir critérios de outorga de direitos do seu uso. Dentro desse contexto, segundo Granziera, *apud* Pereira (1996,

p. 31) a outorga é um instrumento jurídico pelo qual o Poder Público, entendido como o órgão que possui a devida competência legal, confere ao administrado a possibilidade de usar privativamente a água.

A outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivo assegurar e controlar a alocação de água nas questões quantitativa e qualitativa, como também garantir o efetivo exercício dos direitos de acesso água. Segundo a Lei 9.433/97, estão sujeitos a outorga captações de parcela de água oriundos de um corpo de água; extração de água subterrânea; lançamento de efluentes líquidos em corpo hídricos; aproveitamento hidroelétrico entre outros.

Aspectos Conceituais da Outorga de Direitos de Uso da Água

Segundo Pereira & Lanna (1998) a definição de critérios para outorga dos direitos de uso da água passa, inicialmente, pela adoção de um valor de referência, que indicará o limite superior de utilização do curso d'água. Este limite objetiva assegurar o atendimento às demandas de prioridade superior (abastecimento público e garantia de vazão mínima no rio) e ao mesmo tempo assegurar o atendimento da vazão outorgada.

Seguindo esta linha, o poder público definiria a vazão mínima que deveria ser mantida no rio, suficiente para o atendimento às demandas dando prioridade ao atendimento do consumo humano e dessedentação de animais. As vazões excedentes poderiam ser então distribuídas entre os usuários cabendo ao poder público a responsabilidade pelo controle de seu uso. Porém, segundo Luz, citado por Pereira (1997) cabe ao poder público criar mecanismos que garanta o adequado uso do solo e a preservação de certas vazões nos cursos d'água de forma a manter o equilíbrio ecológico, em um sentido amplo, e não necessariamente definir um limite superior para o uso da água.

A forma como vem sendo aplicada a outorga pelo uso da água ocorre com a fixação de um valor de referência que limita a utilização superior deste recurso. Geralmente, este valor de referência tem sido fixado em função da vazão mínima que é excedida em pelo menos 90% do tempo (Q_{90}) ou da vazão mínima média, com 7 dias consecutivos de duração e tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$). Ainda segundo Pereira & Lanna (1997) a ocorrência de falhas de atendimentos às demandas está condicionada à utilização de pequenos valores de referências obtendo maiores garantias, contudo, na maior parte do tempo uma vazão considerável não será utilizada, despertando em muitos usuários protestos no sentido de se ampliar às vazões outorgadas.

Aspectos Institucionais e Legais da Outorga

Mesmo antes da modernização da gestão de recursos hídricos, a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos já tinha sido mencionada no Código das Águas em 1934 e posteriormente no Constituição Federal de 1988, onze anos após então, com a edição da Lei 9.433/97, a outorga ganha destaque como um dos instrumentos da política hídrica, se mostrando assim como o instrumento de gerenciamento de recursos hídrico mais amparado pelo arcabouço legal brasileiro.

Essa mesma lei faz menção à outorga pelo uso de recursos hídricos na seção III, do Capítulo IV (Dos Instrumentos), destinando alguns artigos para o tema, que estão citados a seguir na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Aspectos gerais da outorga na Lei Federal 9.433/97.

Art. 11	Finalidade	Assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.
Art. 12	Usos sujeitos	I - derivação ou captação de parcela de água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo; II - extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo; III - lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; IV - aproveitamento de potenciais hidrelétricos; V – outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.
Art. 12 § 1º	Isenção	I – o uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural; II – as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes; III – as acumulações de volume de água consideradas insignificantes
Art. 13	Condições	Toda outorga estará condicionada às prioridades de uso estabelecidas nos Planos de Recursos Hídricos e deverá respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado e a manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando for o caso.
Art. 14	Efetivação	A outorga efetivar-se-á por ato da autoridade competente do Poder Executivo Federal, dos Estados ou do Distrito Federal.
Art. 16	Prazo	Toda outorga de direitos de uso dos Recursos Hídricos far-se-á por prazo não excedente a trinta e cinco anos, renovável.

Experiência Brasileira em Outorga

Muitos Estados brasileiros acompanharam o processo de aprimoramento da política de recursos hídricos na esfera federal, o que resultou nas suas legislações estaduais, alguns, no entanto, teve sua lei editada antes mesmo da Lei 9433/97, o que acarretou na difusão desse instrumento nos diversos Estados da União.

Assim, Arnéz & Pereira (2002) e Agra *et al.* (2007) analisaram os diferentes sistemas de outorga em implantação no Brasil, com relação às instituições outorgantes, vazões de referências adotadas, legislação responsável, entre outros. Os resultados obtidos por esses autores após atualização estão apresentados na Tabela 2.2. Logo após, serão comentadas as experiências desse instrumento de gestão em alguns estados.

No Estado do Espírito Santo o sistema de Outorga do Direito de Uso da Água é determinado pela Resolução CERH nº 005/05 em consonância com a Lei nº. 5.818/98 (Política Estadual dos Recursos Hídricos). No Espírito Santo a implantação de qualquer atividade ou empreendimento que altere as condições quantitativas ou qualitativas das mananciais superficiais ou subterrâneas depende de autorização do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA.

A IEMA possui um prazo máximo de 120 dias para analisar os processos de outorga que lhe foi requerida. O prazo máximo de vigência da outorga de direito de uso da água é de 12 anos, renovável. A Vazão máxima outorgável para todos os usuários é 50% da vazão de referência (Q_{90} para rios intermitentes e $Q_{7,10}$ para rio perenes) e vazão máxima individual para um mesmo usuário deve ser 25% da vazão de referência.

No Estado de Minas Gerais, tem-se o Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM como o responsável pelo planejamento e administração de todas as ações direcionadas à preservação da quantidade e qualidade das águas, sendo também responsável pelo gerenciamento dos recursos hídricos do Estado. O IGAM tem concedido outorgas do direito de uso dos recursos hídricos baseado na Portaria nº. 010/98, no qual são estabelecidos critérios baseados em vazões de referência a serem utilizadas para cálculo das disponibilidades hídricas em cada seção de interesse. Nesta mesma Portaria define-se o limite máximo de derivação consultiva a serem outorgadas como 30% da $Q_{7,10}$.

A Superintendência de Recursos Hídricos – SRH/Ba, órgão gestor, faz uso do Decreto Estadual nº. 6.296/97 que dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos na seguinte conformidade (4º artigo): concessão, nos casos de utilidade pública (I) e autorização, nos outros casos (II). O artigo 14 desse Decreto estabelece para o somatório das vazões a serem

outorgadas, os seguintes limites: (I) 80% da vazão de 90% de permanência em nível diário do manancial, quando não houver barramento; (II) 80% das vazões regularizadas com 90% de garantia, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais perenes; (III) 95% das vazões regularizadas com 90% de garantia, dos lagos naturais ou de barramentos implantados em mananciais intermitentes. O artigo ainda dispõe no 3º parágrafo que nenhum usuário, individualmente, poderá receber autorização acima de 20% da vazão de referência do manancial.

Na Paraíba o sistema de Outorga do Direito de Uso da Água foi fundamentado pelo Decreto nº 19.260 de 1997 em conformidade com a Lei nº 6.308/ 97 (Política Estadual dos Recursos Hídricos). O Órgão Gestor que tem competência de emitir outorga na Paraíba é a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA. A AESA possui um prazo de 60 dias para decidir sobre a outorga que lhe foi requerida. O prazo máximo de vigência da outorga de direito de uso da água é de 10 anos, podendo ser renovado a critério da AESA. A soma dos volumes de água outorgados numa determinada bacia não poderá exceder 9/10 (nove décimos) da vazão regularizada anual com 90% (noventa por cento) de garantia.

Bastante semelhante ao da Paraíba, o sistema de Outorga do Direito de Uso da Água do Ceará foi criado pelo Decreto no 23.067, de 11 de fevereiro de 1994. O artigo 10 do Decreto Estadual no 23.067/1994 determina que o pedido de outorga do direito de uso de água será processado perante a Secretaria dos Recursos Hídricos. A Secretaria dos Recursos Hídricos terá prazo de 60 dias para decidir sobre a outorga sendo-lhe facultado ouvir previamente o Comitê Estadual de Recursos Hídricos – COMIRH.

No Estado de Alagoas, em particular, a outorga de direito de uso da água foi instituída como um dos instrumentos da política hídrica a partir da Lei Estadual 5.965/97 e posteriormente do Decreto nº 06, de 23 de janeiro de 2001 que regulamenta esse instrumento no Estado. A situação atual da outorga no Estado de Alagoas será discutida a seguir por se tratar do estudo de caso neste trabalho.

Situação da Outorga de Direitos em Alagoas

O Estado de Alagoas, igualmente a alguns estados, vem empreendendo esforços no sentido de adotar importantes medidas para implementar seu sistema de gerenciamento de recursos hídricos. Com isso, ainda em 1997, este Estado editou a Lei 5.965, que define sua política de recursos hídricos, institui o Sistema Estadual de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos e adotou também a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos como

instrumentos de gestão, dentre outros. E posteriormente, o Decreto nº 06, 23 de janeiro de 2001, regulamentou o uso da outorga em Alagoas.

Assim a partir de 2001, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos alagoanos passou a efetivamente ser utilizada. No entanto, muitas dificuldades têm sido enfrentadas, tanto por parte do órgão outorgante, a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEMARH, quanto por parte do demandante (Pereira *et al*, 2005). A SEMARH, assim como a maioria dos órgãos gestores de recursos hídricos do Brasil, não dispõe das condições mais adequadas para cumprir sua missão. Problemas relacionados com falta de técnicos especializados, em quantidade compatível com suas atividades falta de infra-estrutura adequada (móveis, computadores, veículo para trabalho de campo, etc.), entre outros, fazem parte da rotina dessa Instituição.

Tabela 2.2 - Outorga dos recursos hídricos em alguns Estados do Brasil.

Estado	Pol. Estadual de Recursos Hídricos	Decreto que regulamenta a Outorga	Órgão Responsável	Vazão Outorgável
Alagoas	5.965/97	006/01	Sec. E. de Meio Amb.e Rec. Hídr. (SEMARH)	< 0,9.Q ₉₀
Bahia	10.432/06	6.296/97	Instituto de Gestão das Águas (INGÁ)	< 0,8.Q ₉₀
Ceará	11.9996/92	23.067/94	Secr. De Rec. Hídr.(SRH)	< 0,9.Q ₉₀
Distrito Federal	2.725/01	22.359/01	Sec. De Meio Amb., Ciência e Tecnol. (SEMATEC)	<0,8.Q ₉₀
Espírito Santo	5.818/98	Res. nº 005/05	Inst. Est. de Meio Amb. e Rec. Hídr. – IEMA.	<0,5.Q ₉₀ e <0,5.Q _{7,10}
Goiás	13.123/97	PO 130/99	Sec. Do Meio Ambiente e Rec. Hídricos (SEMARH)	-
Maranhão	8.149/2004	-	Secretaria de Est de Meio. Amb e Rec Naturais (SEMA)	-
Minas Gerais	41.578/2001	41.578/2001	Inst. Mineiro de Gest. das Águas (IGAM)	< 0,3.Q _{7,10}
Paraíba	6.308/96	19.260/97	Agência Exec. de Gest. das Águas – AESA	< 0,9.Q ₉₀
Paraná	12.726/99	PO 06/96	SUDERRHSA	-
Pernambuco	11.426/97	-	Sec de Ciências, Tecnologia e M. Ambiente (SECTMA)	-
Piauí	5.165/00	-	Sec. de Meio Amb. e Rec. Naturais do E. do Piauí (SEMAR)	-
Rio de Janeiro	3.239/99	PO 307/03	Sup. Estadual de Rios e Lagoas (SERLA)	< 0,5.Q _{7,10}
Rio G. do Norte	6.908/96	13.283/97	Sec. Est. De Rec. Hídr. (SERHID)	< 0,9.Q ₉₀
Rio G. do Sul	10.350/94	37.033/96	Dep. Rec. Hídr. (DRH) Fund. Est. Prot. Amb. (FEPAM)	Não fixa
Santa Catarina	9.748/94	PO 025/2006	Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável (SDS)	Não fixa
São Paulo	7.663/91	41.258/96	Dep. Águas e Energia Elétric. (DAEE)	Não fixa
Sergipe	3870/97	18.931/2000	Sec. E. de Meio Amb.e Rec. Hídr. e Nat. (SEMARH)	< Q ₉₀
Tocantins	1.302/02	2.432/2005	Inst. De Natureza do Tocantins - NATURATINS	< 0,75.Q ₉₀

Fonte: Adaptado de Arnéz & Pereira (2002) e Agra *et al*. (2007).

O lançamento de efluentes quer seja líquidos ou gasosos, são passíveis de outorga pelo uso da água, aliado a isso, as atividades que geram, entre outros, estes efluentes deve ser objeto de licenciamento. Logo, torna-se imprescindível a integração destes dois instrumentos, mesmo sabendo que estes são de esferas administrativas diferentes (recursos hídricos e ambiental). Assim, traz-se uma breve descrição sobre o conceito de licenciamento ambiental.

2.1.2 Licenciamento Ambiental

É o procedimento no qual o poder público, representado por órgãos ambientais, autoriza e acompanha a implantação e a operação de atividades, que utilizam recursos naturais ou que sejam consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras. É obrigação do empreendedor, prevista em lei, buscar o licenciamento ambiental junto ao órgão competente, desde as etapas iniciais de seu planejamento e instalação até a sua efetiva operação.

O licenciamento ambiental é instrumento fundamental na busca do desenvolvimento sustentável. Sua contribuição é direta e visa a encontrar o convívio equilibrado entre a ação econômica do homem e o meio ambiente onde se insere. Busca-se a compatibilidade do desenvolvimento econômico e da livre iniciativa com o meio ambiente, dentro de sua capacidade de regeneração e permanência. Trata-se de uma obrigação legal prévia à instalação de qualquer empreendimento ou atividade potencialmente poluidora ou degradadora do meio ambiente (impactantes) e possui como uma de suas mais expressivas características a participação social na tomada de decisão.

Define-se impacto ambiental como a alteração no meio ou em algum de seus componentes por determinada ação ou atividade. Essas alterações precisam ser quantificadas, pois apresentam variações relativas, podendo ser positivas ou negativas, grandes ou pequenas. Os impactos ambientais acarretados por um empreendimento (projeto) pode ser quantificado através da diferença entre os valores dos parâmetros ambientais da situação sem e com o projeto, conforme pode ser ilustrado na figura 2.1.

2.1.3 Cobrança pelo uso da água

A Lei 9.433/97 (Lei das Águas) fundamenta a água como um recurso limitado, bem de domínio público e dotado de valor econômico. Em consonância disso a mesma Lei em seu capítulo IV, seção IV - institui como instrumento de gestão de recursos hídricos a cobrança pelo uso da água.

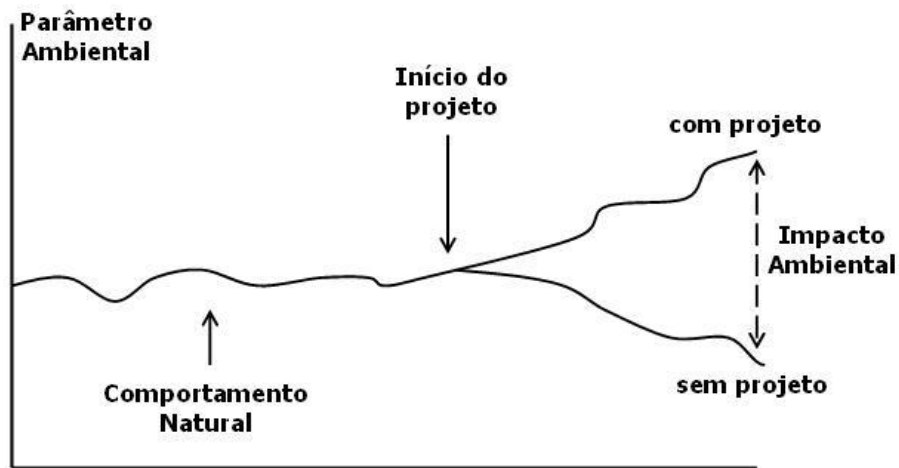


Figura 2.1- Definição de impacto ambiental. Fonte: Mendes (2007).

Aspectos Legais e Institucionais da Cobrança Pelo Uso da Água

A Constituição Federal de 1988 tornou públicas as águas e as repartiu entre a União e os Estados (art. 20, III e art. 26, I). Quanto à remuneração do uso desse bem, diversos diplomas legais fazem menção ao tema, desde o Código de Águas (Decreto Federal nº 24.643 de 10 de julho de 1934) até a Resolução n.º 48 do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos, passando pela Lei 9.443/97. De acordo com isso, Pereira (2007) analisou vários documentos legais que tratam do assunto e sintetizou na Tabela 2.3.

Em relação às instituições podem-se citar as seguintes, que desempenham papel importante na efetivação da cobrança pelo uso da água:

Conselho Nacional de Recursos Hídricos - estabelecer critérios gerais para a outorga de direitos de uso de recursos hídricos e para a cobrança por seu uso.

Comitês de Bacia Hidrográfica - estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados.

Agências de Água - função de secretaria executiva do respectivo Comitê de Bacia Hidrográfica, efetuar, mediante delegação do outorgante, a cobrança pelo uso de recursos hídricos; acompanhar a administração financeira dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos em sua área de atuação e propor aos respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica os valores a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos.

Aspectos Gerais da Cobrança Pelo Uso da Água

A cobrança pelo uso da água vem com o intuito de reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor; incentivar a racionalização do uso da água; e obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

São passíveis de cobrança todos os usos sujeitos a outorga de uso dos recursos hídricos. A outorga de direitos dos recursos hídricos incide entre outros usos, na captação de parcela da água em um rio e usos que alterem o regime em um corpo de água. Segundo a Resolução nº. 48, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, a cobrança pelo uso da água deve ser aplicada levando em consideração entre outros fatores: a classe em que estiver enquadrado o corpo de água; a disponibilidade hídrica; o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas; vazão reservada, captada, extraída ou derivada e seu regime de variação; vazão consumida; finalidade a que se destinam; sazonalidade e localização do usuário na bacia.

Assim, mostra-se a importância de estimar o valor da água em função das características geográficas dos usuários, ponderando os impactos que uma intervenção de um usuário provoca em toda sua bacia.

Tabela 2.3 – A cobrança pelo uso da água nas legislações federais.

DIPLOMA LEGAL	REFERÊNCIA À REMUNERAÇÃO
Código Civil	Dispõe que o uso comum dos bens públicos pode ser gratuito ou retribuído conforme as leis da União, dos Estados ou Municípios a cuja administração pertencerem. (art. 68)
Código de Águas Dec. Federal 24.643/1934	Apresenta texto bastante semelhante ao do Código Civil dispondo que o uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído conforme leis e regulamentos da circunscrição administrativa a que pertencerem.
Política Nacional do Meio Ambiente Lei 6.938/1981	Adota o Princípio Poluidor Pagador e Princípio Usuário Pagador aplicados aos recursos ambientais e inclui entre estes, os recursos hídricos. A Lei dispõe que a Política visará à imposição, ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados e, ao usuário, da contribuição pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos (art. 4, VII).
Política Nacional de Irrigação Lei 6.662/1979 Dec. 89.496/84	Dispõe que o uso de águas públicas para fins de irrigação e atividades decorrentes dependerá de remuneração (art. 21).
Compensação Financeira Lei 7.990/1989	Regulamenta o artigo 20 (parágrafo 1) da Constituição Federal dispondo sobre a compensação financeira pelo

		aproveitamento de recursos hídricos para fins de geração de energia elétrica, justificada pela perda econômica decorrente da inundação. A Lei 8.001/1990 define os percentuais da distribuição dessa compensação entre os Estados, Municípios e órgãos da administração direta da União.
Política Nacional de Recursos Hídricos	Lei 9.433/97	Entende a cobrança pelo uso de recursos hídricos como um dos seus instrumentos de gestão (art. 5, IV).
Criação da Agência Nacional de Águas - ANA	Lei 9.984/2000	Define como atribuição da ANA, entre outras, arrecadar, distribuir e aplicar receitas auferidas por intermédio da cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União, na forma do disposto no art. 22 da Lei nº 9.433, de 1997 (Art.4, IX); Inclui entre as receitas da ANA os recursos decorrentes da cobrança pelo uso de água em corpos hídricos de domínio da União (Art. 20, II); Altera a Lei 7.990/1989, fixando o pagamento pelo uso de recursos hídricos por parte do setor elétrico em setenta e cinco centésimos por cento do valor da energia produzida.
Contrato de gestão entre a ANA e Agências de Águas	Lei 10.881/2004	Dispõe sobre os contratos de gestão entre a Agência Nacional de Águas e entidades delegatárias das funções de Agências de Águas relativas à gestão de recursos hídricos de domínio da União e dá outras providências.
Resolução nº. 48		Estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos

Fonte: Adaptado de Pereira (2007)

Segundo Thomas (2002) o valor da cobrança é o resultado da multiplicação da base de cálculo pelo preço unitário. A definição da base de cálculo é feita em função do uso da água e o preço, é definido, em geral, em função dos objetivos da cobrança (destaca-se que a cobrança pelo uso da água tem basicamente dois objetivos: arrecadatório e indutor de mudanças comportamentais). No entanto, observou-se que, em alguns casos, houve uma adaptação progressiva dessa estrutura para atender a uma série de objetivos específicos como diferenciar a cobrança em função do tipo de usuário, do tipo de uso, etc. As adaptações, de maneira geral, foram efetuadas através da anexação de coeficientes de ponderação à estrutura básica. Estes

coeficientes são adimensionais e diferenciam o valor da cobrança segundo diversos atributos, conforme equação 2.1, citada por Ribeiro *et al.*, 1998.

$$\$_i = (A.B.C.D.E).\$_{ref} \cdot Q_i \quad (2.1)$$

Onde:

$\$_i$ = valor cobrado por usuário (\$);

A = coeficiente que depende da estação do ano;

B = coeficiente que depende do local de captação;

C = coeficiente que depende do tipo de uso;

D = coeficiente que depende da eficiência do uso da água;

E = coeficiente que depende do tipo de manancial;

$\$_{ref}$ = valor de referência da cobrança (\$/m³); e

Q_i = volume captado por usuário (m³).

Quatro são os usos de água que podem ser cobrados, que podem ser visto na figura 2.2: a) Uso da água disponível no ambiente (água bruta) como fator de produção ou bem de consumo final (captação e consumo)¹; b) Uso de serviços de captação, regularização, transporte, tratamento e distribuição de água; c) Uso de serviços de coleta, transporte, tratamento e destinação final de esgotos (serviço de esgotamento) e d) Uso da água disponível no ambiente como receptor de resíduos, definido como a quantidade de água necessária para diluir uma carga poluente.

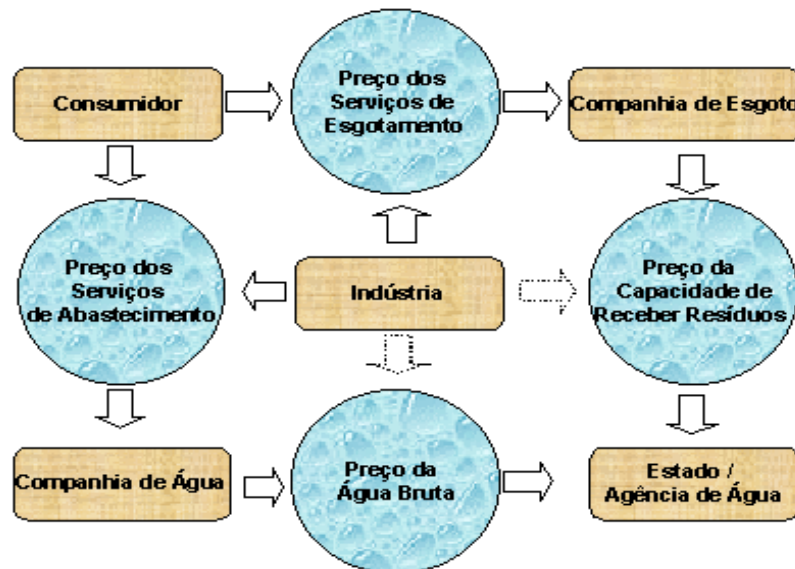


Figura 2.2- Os preços da água. Fonte: Pereira (2002)

¹ O uso de captação é definido como a retirada de água do corpo hídrico. Já o uso de consumo, como a parcela do uso de captação que não é devolvida ao corpo hídrico.

Experiências Brasileiras em Cobrança Pelo Uso da Água

Segundo Pereira (2007) a experiência brasileira em aplicação da cobrança pelo uso da água é ainda incipiente. Entretanto, o País já conta com as experiências do Estado do Ceará, da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – CEIVAP, da Bacia Hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá e, mais recentemente, uma modalidade de cobrança foi implantada no Estado da Bahia, o Estado de São Paulo e Rio de Janeiro.

No Estado do Ceará a tarifa a ser cobrada pelo uso dos recursos hídricos é calculada utilizando a equação a seguir (art. 2º do Decreto Estadual 27.271/2003):

$$T(u) = T \cdot V_{ef} \quad (2.2)$$

Onde:

T(u) - tarifa do usuário;

T - tarifa padrão sobre o volume consumido; e

V_{ef} - Volume mensal consumido pelo usuário.

O Decreto 28.074, de 29 de dezembro de 2005 apresenta os valores da tarifa padrão sobre o consumo de água no Estado do Ceará, conforme tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Valores das tarifas usadas no Ceará.

Tipo de uso	Tarifa padrão (R\$/1000m³)
Abastecimento Público	32,77 - 60,30
Indústria	1036,63
Irrigação	3,00 – 9,60

A experiência em cobrança pelo uso da água na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul foi iniciada em 2003, aprovada pelo seu comitê CEIVAP que se pautava na aplicação de um Preço Público Unitário (PPU), sobre os volumes de água demandados na forma de captação, consumo e lançamento. O valor total cobrado é descrito na Equação 2.3.

$$CobT = Q_{cap} \times PPU \times [K_0 + K_1 + (1 - K_1) \times (1 - K_2 \times K_3)] \quad (2.3)$$

Onde:

Q_{cap}: Volume de água captada;

K₀: Multiplicador de preços determinado como 0,4;

K₁: Coeficiente de consumo;

K₂: Índice de cobertura no tratamento de efluentes;

K₃: Coeficiente de eficiência do sistema de tratamento de efluentes;

PPU: Preço Público Unitário, R\$ 0,005/m³ para a irrigação e R\$ 0,02/m³ para os demais usos.

Essa formulação permaneceu em vigor até o ano de 2006, quando foi revisada pelo Comitê, inserindo critérios mais específicos quanto ao uso e as especificidades dos usuários, qualidade do corpo hídrico onde ocorre a captação e/ou lançamento e critérios de dominialidade (rio Federal ou Estadual), além de definir novos preços públicos por tipo de uso. A nova formulação, definida pela Deliberação CEIVAP nº 65/2006 passou a vigorar em janeiro de 2007, ratifica a cobrança como um preço público de natureza não tributária que se caracteriza como uma “taxa condominial”, onde os usuários são os “condôminos” que além de usufruir dos recursos hídricos da Bacia, são também responsáveis pela sua manutenção. Os mecanismos de cálculo empregados são definidos pela equação 2.4.

$$\text{CobT} = Q_{\text{cap_out}} \times \text{PPU}_{\text{cap}} \times K_{\text{cap_classe}} + C_{\text{DBO}} \times Q_{\text{lanç_Fed}} \times \text{PPU}_{\text{DBO}} + (Q_{\text{capT}} - Q_{\text{lançT}}) \times \text{PPU}_{\text{cons}} \times (Q_{\text{cap}} / Q_{\text{capT}}) \quad (2.4)$$

Onde:

$Q_{\text{cap_out}}$: Volume de água outorgado para captação;

Q_{cap} : Volume de água captado segundo a dominialidade do rio;

Q_{capT} : Volume total de água captado, inclusive em rede de abastecimento;

$Q_{\text{lanç_Fed}}$: Volume de água lançado;

$Q_{\text{lançT}}$: Volume total de água lançado, inclusive em rede de abastecimento;

$K_{\text{cap_classe}}$: Coeficiente de enquadramento que indica a classe do corpo d’água onde ocorre a captação;

C_{DBO} : Concentração média de DBO lançada, em Kg/l;

PPU_{cap} : Preço Público Unitário para captação de água (R\$ 0,01/m³);

PPU_{cons} : Preço Público Unitário para o consumo (R\$ 0,02/m³);

PPU_{DBO} : Preço Público Unitário pela diluição da carga (R\$ 0,07/kg).

No uso da água para a atividade de irrigação, a mensuração do consumo se apóia no princípio de que uma parte do recurso retorna ao curso d’água através de leitos subterrâneos, enquanto outra parte é absorvida pela cultura ou “perdida” em razão da evaporação. Com base nesses argumentos, a Deliberação CEIVAP nº 65/2006 especifica o consumo de água para a atividade de irrigação como um percentual da captação, conforme equação 2.5.

$$\text{ValorConsIrrig} = Q_{\text{cap}} \times \text{PPU}_{\text{cons}} \times K_{\text{cons}} \quad (2.5)$$

Sendo K_{cons} o coeficiente de mensuração do “consumo efetivo” equivalente a 0,4 para a cultura de arroz e 0,5 para as demais culturas.

A cobrança pelo uso da água bruta na Bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) foi iniciada em janeiro de 2007, sendo regulamentada pela Deliberação Conjunta dos

Comitês PCJ nº 053/2006, de 21 de novembro de 2006. A proposta aprovada estabelece mecanismos semelhantes ao aplicado na Bacia do Paraíba do Sul, se distinguindo pelo maior valor cobrado pela carga de efluente lançada (R\$ 0,10/Kg) e pela inserção de critérios relacionados à disponibilidade hídrica no ponto de lançamento, tornando ainda mais relevante os aspectos de qualidade da água. O procedimento é estabelecido pela Equação 2.6.

$$\text{CobT} = \text{PUF}_{\text{cap}} \times V_{\text{cap}} + \text{PUF}_{\text{cons}} \times V_{\text{cons}} + \text{PUF}_{\text{Parâmetro}(x)} \times Q_{\text{Parâmetro}(x)} \quad (2.6)$$

Onde:

V_{cap} : Volume total de água captado;

V_{cons} : Volume total de água consumido;

$Q_{\text{Parâmetro}(x)}$: Valor médio da carga do parâmetro (x) presente no efluente lançado;

PUF_{cap} : Preço Unitário Final para captação de água (R\$ 0,01/m³);

PUF_{cons} : Preço Unitário Final para o consumo de água (R\$ 0,02/m³);

$\text{PUF}_{\text{lanç}}$: Preço Unitário Final pelo lançamento de parâmetros poluentes (R\$ 0,10/kg).

O procedimento para o cálculo da parcela da cobrança referente ao consumo de água pelo setor de irrigação é semelhante ao adotado pelo CEIVAP (equação 2.5). Sendo que, no caso do PCJ, o valor do coeficiente que leva em conta o retorno, aos corpos d'água, de parte da água utilizada na irrigação, foi fixado em 0,5 (cinco décimos), para todas as culturas.

Na Bahia, segundo as legislações, duas modalidades de cobrança estão previstas: 1) a cobrança pelo fornecimento de água bruta dos reservatórios operados pela SRH/Ba; e 2) a cobrança pelo uso da água do domínio Estadual. Conforme estabelecem as leis 8.194/02 e 10.432/2006, os recursos obtidos com a primeira modalidade de cobrança ficarão à disposição da SRH/Ba para financiar as atividades de operação e manutenção dos reservatórios. Esta cobrança foi regulamentada pelo Decreto 9.747/2005, determinou que, a partir de 2006, às concessionárias do serviço de abastecimento de água bruta deve pagar ao órgão gestor o valor de R\$ 0,02/m³, pela prestação do serviço de fornecimento de água bruta dos reservatórios sob sua administração. Por outro lado, os recursos obtidos com a segunda modalidade de cobrança alimentarão o Fundo Estadual de Recursos Hídricos e são aplicados naquilo que dispor, respeitados os limites da legislação, o plano de aplicação aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

Nesse caso da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco, o seu comitê (CBHSF) já aprovou os valores, critérios e mecanismos de cobrança que considera as parcelas captadas e consumidas, são aqueles já adotados pelas bacias dos rios Paraíba do Sul (CEIVAP), Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ).

No estado de São Paulo em 1996, foi elaborado estudos de implantação da cobrança pelo uso da água e, em 2004, obtive-se a elaboração da Regulamentação da Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos dentro dos estudos do Plano Estadual de Recursos Hídricos do quadriênio 2004/2007. Em dezembro de 2005, após um longo processo de tramitação na Assembléia Legislativa foi promulgada a Lei Estadual nº 12.183 que dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos nos domínios do Estado de São Paulo. A previsão é de que a cobrança atinja todos os usuários a partir do ano 2010 (Neves *et al.*, 2007).

O Estado do Rio de Janeiro implantou inicialmente a cobrança apenas para as águas fluminenses da bacia do Paraíba do Sul, iniciada em 2004, e, com a aprovação da Lei estadual 4.247/04, estendeu a cobrança para as demais bacias fluminenses. A cobrança no Estado do Rio de Janeiro apresenta a mesma metodologia e critérios da cobrança implantada na bacia do Paraíba do Sul (CEIVAP).

No estado de Alagoas, a Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei nº 5.965/97) prevê a cobrança pelo uso da água como um instrumento de gestão; porém é relevante ressaltar é que o cronograma previsto para a implantação da cobrança pelo uso da água que constava de ações, fases e atividades encontram-se em etapas não foram cumpridas dentro do prazo previsto. Em um prazo de 180 (cento e oitenta) dias após a publicação da Lei nº5.965/97, o Poder Executivo deveria tê-la regulamentado para efeito de operacionalização de gerenciamento relativo à cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

Assim percebe-se das experiências brasileiras em cobrança pelo uso da água, como dito anteriormente, que nenhum mecanismo de cobrança no Brasil leva em consideração os aspectos temporais e espaciais, ressaltando mais uma vez a importância desse estudo. Aponta-se como motivos da ausência destes critérios, a complexidade inerente ao encontrar os coeficientes temporal e locacional, como também existe a preocupação com aceitação por parte dos usuários do instrumento em tela, logo se opta por uma metodologia de cobrança simples e de fácil compreensão ausente de muitos coeficientes que dificulte seu entendimento; promovendo assim sua efetivação.

2.2 Noções de Microeconomia

Microeconomia é voltada ao estudo do comportamento das unidades de consumo (indivíduos e famílias), das empresas e da produção de preços dos diversos bens, serviços e fatores produtivos, face ao problema de alocação de recursos escassos em relação a uma série possível de fins. A seguir alguns conceitos de microeconomia, que se faz necessário para o entendimento deste trabalho.

Análise Custo-Benefício: é relação entre os benefícios e os custos totais de um projeto ou programas de investimento. Os benefícios e custos são encontrados em um determinado instante de referência, que são calculados a partir da engenharia econômica, através da transferência dos valores para o instante presente (valor presente). Procura-se que esta razão benefício por custo seja maior que a unidade para tornar o empreendimento viável.

Outro conceito importante é a externalidade ou custos externos que são os prejuízos e /ou benefícios causados por um indivíduo a terceiros, normalmente de forma não-intencional, e que não são pagos. A externalidade positiva ocorre quando uma atividade gera alguma vantagem sem receber sua respectiva numeração, da mesma forma, a externalidade negativa acontece quando uma atividade causa perda de bem-estar aos outros, no qual essa perda não é compensada.

A oferta é a quantidade de um bem que as empresas estão dispostas a colocar no mercado em cada período de tempo, é determinada pelo preço do bem; os preços dos fatores de produção; os objetivos das empresas produtoras e o nível tecnológico utilizado. A curva de oferta é a representação geométrica das quantidades máximas ofertada no mercado para um determinado preço.

Demanda é a quantidade de um bem que as unidades de consumo desejam obter em cada período de tempo. O preço do bem e dos outros bens, o rendimento da família ou indivíduos, fatores sociológicos; e os gostos e o padrão de vida são determinantes da procura. A curva de procura é o lugar geométrico das quantidades máxima procuradas no mercado a todos os níveis de preço. As curvas de oferta e demandas estão na figura 2.3. No item a seguir será explicitada a diferença entre valores e custos para o bem 'água' que é tema principal deste trabalho.

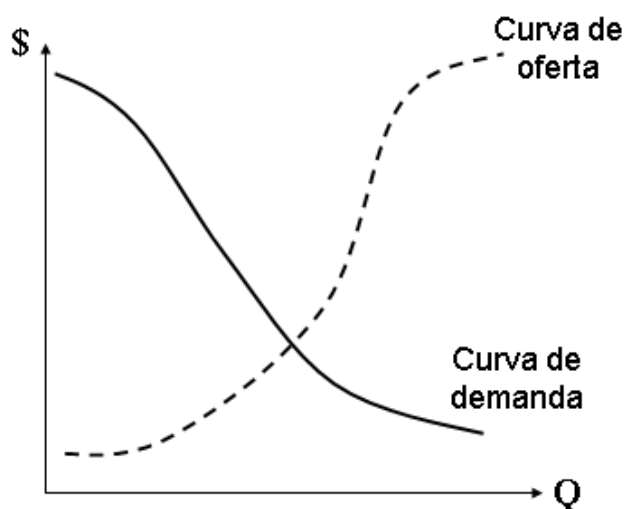


Figura 2.3 - Curvas de oferta e demanda.

Utilidade significa o nível de satisfação e felicidade que os consumidores podem atingir ao adquirir um bem. No caso das empresas representa a satisfação que os estabelecimentos utilizam na produção de um insumo. Por exemplo, no caso de um empreendimento agrícola a utilidade depende da terra, água, mão-de-obra, clima, estações do ano e etc.; podendo ser representado pela equação 2.7.

$$U = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad 2.7$$

Onde x_i são os diferentes bens consumidos.

Mas ao decidir o quanto vai consumir de cada insumo ou produto; o consumidor ou empreendedor, respectivamente, tem de levar em consideração os preços dos produtos (p_i) e quantidade de recursos à sua disposição (m). Assim é possível definir um conjunto orçamentário definido pela equação 2.8.

$$p_1 \cdot x_1 + p_2 \cdot x_2 + \dots + p_n \cdot x_n \leq m \quad 2.8$$

Então na procura de máxima utilidade dos consumidores, utiliza-se a equação 2.9; dada a restrição na equação 2.8.

$$\text{Max } U = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad 2.9$$

A solução deste problema, ou seja, a máxima utilidade será encontrada fazendo de técnicas de otimização que serão descritas na revisão bibliográfica deste trabalho.

2.3 Atribuição de valores econômicos

No modo geral, valor indica o real desejo de objetos, situações e conseqüências; julga a importância ao considerar nas situações de decisões. O escopo de valores vem de princípios éticos no qual devem ser mantidas preferências entre escolhas (Agudelo, 2001). Valores econômicos são baseados em situações de escolha, devido a idéia que muitos recursos são escassos. Não existe água, terra, mão-de-obra suficiente para todas as necessidades desejáveis dos indivíduos na sociedade, mostrando-se que os recursos são escassos, sendo necessário fazer escolhas sobre como a sociedade usa o que é disponível.

O conceito econômico de valor tem uma fundamentação na economia do bem-estar neoclássica. A economia do bem estar é a ciência que determina como recursos disponíveis podem ser melhor usados para promover o bem estar humano, baseado nisso esta corrente procura desenvolver melhores procedimentos para alocação de recurso de base (capital, mão

de obra, terra e etc.) entre potenciais usuários no intuito de satisfazer suas necessidades individuais e coletivas.

As premissas básicas da economia do bem estar são no sentido que atividades econômicas servem para aumentar o bem estar dos indivíduos na sociedade. A economia do bem estar de um indivíduo é formalmente indicado por um nível de utilidade (felicidade e satisfação). Níveis de utilidade dos indivíduos dependem de bens e serviços que eles compram nos mercados, como também na quantidade e qualidade que eles recebem de mercados não valoráveis e serviços de fluxos oriundo do sistema recurso-ambiente, como exemplo: saúde, caráter estético de um curso de água (amenidades) e oportunidades de recreações e lazer. Destaca-se a complexidade envolvida na medição da utilidade, e conseqüentemente na definição de valor, sobretudo de recursos naturais. Segundo Armsworth & Roughgarden, citados por Agudelo (2001) na realidade existe a necessidade e importância de comum completo comprometimento ambiental, recursos naturais e econômicos para analisar a interação entre sistemas ecológicos, produções econômicas e atividades de consumo.

2.3.1 Análise econômica da água

Quando se relaciona como um bem, o valor econômico do recurso ambiental é definido como a soma dos valores presentes de fluxo de todos os bens e serviços providos pelo sistema o que pertence, além dos valores intangíveis; ou através da soma das disponibilidades dos usuários a pagar por este bem ou serviço em tela.

Neste contexto, a disponibilidade de água para satisfação da necessidade de um utilizador implica em custos. Assim, a análise econômica do recurso 'água' deverá ser realizada por meio da iteração destes dois fatores (valor e custo), que servirão de base ao estabelecimento do preço da água.

Os custos a estimar no setor água podem se divide em custos econômico-financeiros (ou custo econômico total) e custos ambientais. Os custos financeiros incluem, num primeiro nível, os custos de investimento ou de capital (recuperação do investimento), bem como os custos de exploração, manutenção e administrativo. No segundo nível, os custos econômicos incluem os custos de oportunidade e as externalidades econômicas (custo de escassez e de recurso). Os custos ambientais (ou externalidades ambientais) representam os impactos no ambiente resultante das diversas utilizações da água.

Geralmente, os bens e serviços oferecidos pelos recursos naturais (água, ar) não são considerados na tradicional Análise Custo Benefício (Ribeiro, 2000), como também os custos

externos. É importante tratar sistemas ambientais como recursos econômicos que provem de bens e serviços. Randall, citado por Agudelo (2001) destaca que valoração dos recursos naturais são políticas relevantes para Análise Custo Benefício. Na definição de valores de recursos é necessário avançar para ter uma explícita formulação da função de bem estar relacionada com os benefícios e serviços providos destes recursos.

A água pode ser considerada com um bem natural, seu valor reside na capacidade de criar fluxo de bens e serviço (benefícios) durante o tempo (Agudelo, 2001). Normalmente, o valor da água pode ser obtido pela soma das suas componentes que representa seu valor econômico com o seu valor intrínseco. O valor intrínseco representa aquelas parcelas que o valor econômico não consegue determinar, por exemplo, o valor da existência, cultural e histórico. Enquanto que o valor econômico da água é composto pelas seguintes parcelas:

- Valor de uso da água: uso da água como fontes de bens e serviços para obter benefícios presentes e futuros, no caso dos usuários industriais e comerciais, reflete o valor adicional de bem para o consumidor, quando da utilização uma unidade adicional de água, ou seja, é o valor adicionado na produção decorrente do uso da água. No caso dos usuários residenciais, pode ser construído a partir da disposição a pagar.
- Benefícios líquidos da vazão de retorno: refere-se ao valor da água nas etapas posteriores. A retirada da água de um sistema hidrológico implica que ela não estará disponível para outros usos no mesmo sistema em outro estágio temporal ou locacional; assim, esses benefícios potenciais devem ser considerados; representa também o retorno da água captada para uso industrial, agrícola ou doméstico. Por exemplo, parte da água utilizada para irrigação alimenta as águas subterrâneas na região ou retorna para o leito do rio a jusante, esta parcela do valor da água é o objeto de estudo deste trabalho;
- Benefício líquidos de usos indiretos: ocorre quando a retirada da água de um sistema hidrológico também gera efeitos sobre o restante das atividades humanas; por exemplo, pode aumentar a salinidade dos solos. Outro típico exemplo de tais benefícios ocorre com sistemas de captação que fornecem água para usos domésticos (potável e de higiene pessoal) e criação de animais, que podem resultar em melhoria da saúde;

- Ajuste a objetivos sociais: na utilização da água nas tarefas domésticas e agrícolas, pode ser feita uma adaptação para os objetivos sociais tais como: aumento de emprego, a redução da pobreza e segurança alimentar (sobretudo nas zonas rurais, onde preço dos alimentos tendem a se elevar na ausência dos alimentos produzido com agricultura irrigada, onde pode ser difícil o abastecimento de grãos importados).

Não obstante a esta subdivisão do valor da água, Seyam *et al.* (2002) propõe que o valor deste recurso é constituído pelo valor direto, ou seja, devido ao valor que a água possui em determinado local (*in situ*) e o indireto, gerado a partir de benefícios derivados da dinâmica de translação de montante para jusante no ciclo hidrológico; conforme figura 2.4.

Assim, uma intervenção à montante de uma bacia interfere em todos usuários à jusante, pois modifica o regime de vazões. Isto pode ser melhor visualizado a partir da figura 2.5, onde o local de intervenção na bacia seria o ponto 1 e o trecho influenciado por esta intervenção seria o trecho 1 que teria o seu hidrograma modificado devido a alteração no ponto à montante (ponto 1). Neste caso o usuário localizado no ponto 1 se beneficiaria da sua localização em relação aos usuários localizados no trecho 1, prejudicando-os de forma, geralmente, não-intencional. Os custos ocasionados por estes prejuízos correspondem ao valor indireto da água.

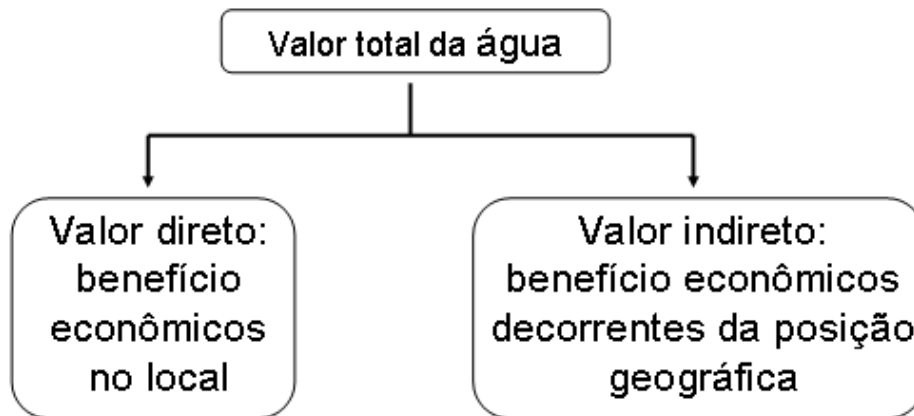


Figura 2.4 – Componente do valor da água (Seyam *et al.*, 2002).

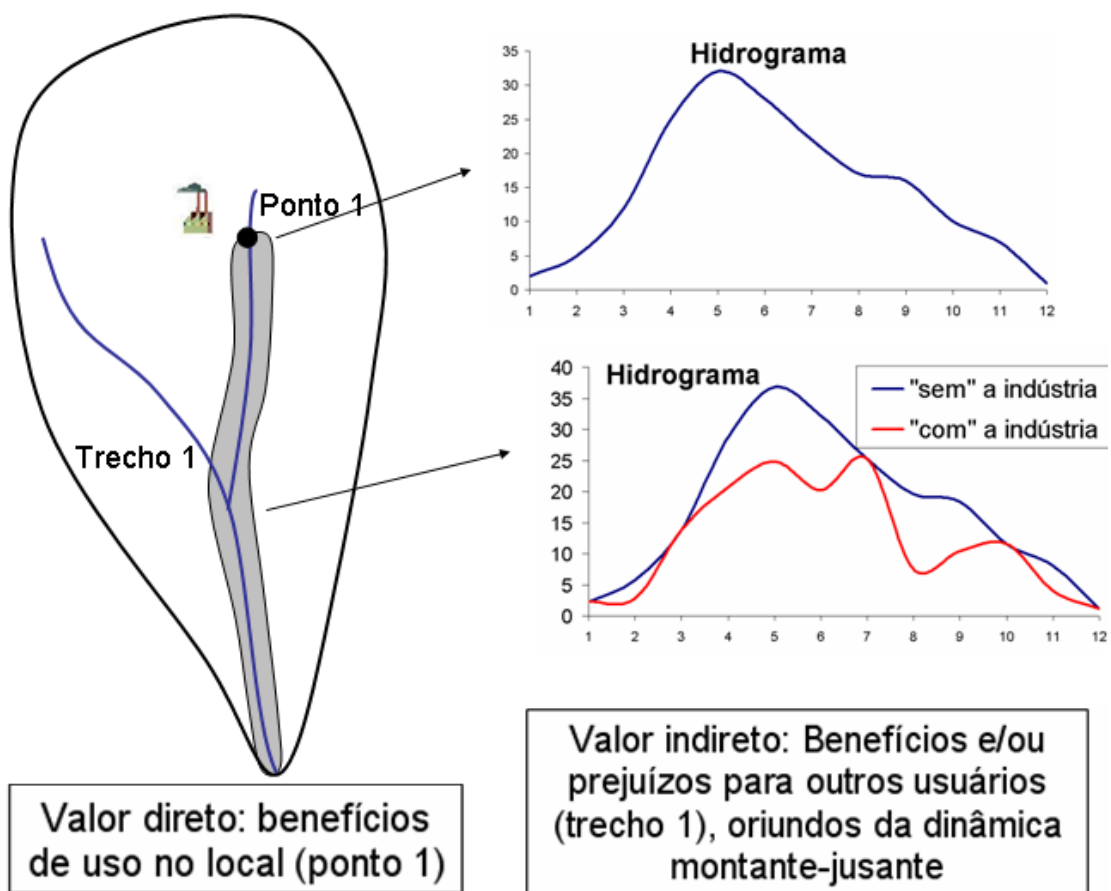


Figura 2.5 – Valor direto e indireto da água.

Para avaliar os valores econômicos diretos da água, na procura da satisfação geral da sociedade como o todo, usam-se frequentemente conceitos de consumo marginal e produção marginal, através de curva de oferta e demanda. Quando um bem econômico (neste caso a água) é negociado num mercado perfeitamente competitivo, seu preço de mercado é determinado pelo equilíbrio da demanda e oferta, ou seja, o valor e a quantidade que correspondente ao nível no qual o consumidor está disposto a pagar pela próxima unidade

produzida é igual ao custo da produção, se refletindo o máximo de bem estar que se pode obter com um determinado pagamento. Método da Valoração Contingencial, Custo de Viagem e Valor Hedônico são métodos que viabilizam a determinação do valor direto deste bem, através da curva de demanda (Bateman, *apud* Ribeiro, 2000, p.32). A seguir comenta-se estes métodos.

O método da valoração contingencial consiste, na sua forma mais comum, na realização de entrevistas com os indivíduos afetados pela disponibilidade do recurso ambiental que se deseja avaliar. Nessas entrevistas os indivíduos são questionados sobre a sua disposição a pagar para conservar ou melhorar a disponibilidade daquele recurso ou sobre o valor mínimo que estariam dispostos a aceitar como compensação pela perda ou degradação de um dado recurso ambiental. Após um tratamento das respostas com técnicas econométricas², pode-se definir a curva de benefícios ou curva de custos externos.

O termo contingencial é utilizado porque os indivíduos devem revelar suas preferências quando confrontados com um mercado hipotético, ou eventual, construído a partir de uma série de contingências (hipóteses). Por exemplo, pergunta-se a um agricultor quanto ele estaria disposto a pagar caso tivesse a vazão do rio que atravessa sua fazenda aumentada em 1 m³/s. No caso dos custos externos, os usuários situados a jusante do agricultor seriam questionados sobre quanto estariam dispostos a aceitar como compensação caso o agricultor a montante consumisse 1 m³/s de água, tornando-se indisponível esta quantidade para os outros usuários da bacia.

O método custo de viagem consiste basicamente na apropriação dos gastos que os indivíduos têm para se deslocar até um local de recreação. Ele assume que estes gastos refletem, de certa forma, o valor recreacional daquele local. Por exemplo, ao se construir uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), a qualidade da água de um determinado rio se tornará melhor e alguns indivíduos serão incentivados a utilizá-lo para lazer (pesca, mergulho, etc.). Logo, calculando-se os gastos destes indivíduos para se deslocar até o rio, pode-se avaliar uma parte do benefício da construção daquela ETE. Os mesmos gastos poderiam representar o custo externo de poluir um rio que antes era limpo.

No entanto, é simplista considerar que os gastos totais efetuados representam o valor recreacional do local (Tavares *et al.*, 1999 *apud* Thomas, 2002). É preciso investigar alguns fatores tais como: a forma como foram feitos estes gastos, a distância de deslocamento, o

² Econometria: parte da Economia voltada à descrição de relações econômicas por meio de modelos matemáticos e à estimação dos parâmetros desses modelos, com uso de dados estatísticos.

número de visitas feitas por ano, o tempo gasto nessas visitas e, se possível, a motivação. Portanto, apesar do método ser atrativo por basear as preferências dos indivíduos em variáveis que possuem real valor econômico, sua aplicação deve ser realizada com cautela, pois os resultados dependerão do conhecimento profundo dos diversos fatores citados que influenciam os gastos.

O método do valor hedônico tem como base que: a alteração na disponibilidade de um recurso ambiental pode influenciar os preços de alguns mercados. Um mercado utilizado com frequência por este método é o imobiliário. Considera-se que os preços dos imóveis são definidos por uma série de fatores ambientais e não-ambientais. Entre os primeiros destacam-se: a disponibilidade de água, em quantidade e qualidade e a proximidade às fontes de poluição, como lixões, valas negras, etc. Já os fatores não-ambientais consideram o tamanho do imóvel, o número de cômodos e sua distribuição, a facilidade de transporte, o acesso aos locais de trabalho, etc. O método parte do princípio de que, após isoladas todas as variáveis não-ambientais, a diferença de preço remanescente poderia ser explicada pelas diferenças ambientais. Utilizando o exemplo anterior, ao invés de avaliar o benefício da construção da ETE através dos custos de viagem, poder-se-ia analisar a valorização dos imóveis situados na margem do rio beneficiado pela sua construção. No caso do rio ser limpo e se tornar poluído, seria avaliada a desvalorização dos imóveis.

No entanto, há uma grande dificuldade em conseguir isolar as variáveis ambientais das não-ambientais. Dessa forma, é necessário efetuar um cuidadoso tratamento econométrico dos dados. Além disso, se os compradores dos imóveis não perceberem as mudanças ambientais, o preço não seria influenciado por essas mudanças. Por outro lado, há ainda a possibilidade do governo oferecer subsídios ou cobrar taxas que afetem a análise do valor dos imóveis.

Valor indireto da água

O valor indireto da água é oriundo dos benefícios econômicos que a água pode trazer na trajetória a qual é percorrida. Salienta-se que qualquer alteração do seu fluxo (regime de vazões) causado por um usuário, como captação de água para irrigação e/ou lançamentos de cargas de poluentes de uma indústria, pode ser refletida nos usuários a jusante. Assim, uma intervenção à montante de uma bacia interfere em todos usuários a jusante. Isto pode ser melhor visualizado a partir da figura 2.5, onde o local de intervenção na bacia seria o ponto 1 (uma indústria) e o trecho influenciado (prejudicado) por esta intervenção seria o trecho 1 que teria o seu hidrograma modificado. Haja vista, ainda na figura 2.3, a diferença de hidrograma neste trecho 'com' e 'sem' a indústria.

Quanto mais à montante ocorre a interferência no regime de vazões e quanto mais seco é o período, maior serão o número de usuários à jusante que são prejudicados e maior será também o benefício que este usuário adquire, conseqüentemente maior também será seu valor indireto. Logo se pode concluir que o fluxo da água é contrário ao do seu valor indireto, pois quanto mais a montante for à intervenção maior serão as alterações na bacia. Isto corrobora a importância dada às áreas de nascentes, mencionada pelo Código Florestal (Brasil, 1965) que considerada de preservação permanente³ toda a área num raio mínimo de 50 metros da nascente, mesmo que seja um olho d'água intermitente.

No intuito de ponderar a relação acima, Seyam et al (2002) desenvolveu métodos de valoração indireta da água. Estes autores afirmam que as razões entre os valores indiretos (importância relativa) afluentes, efluentes e de armazenamento sobre seus respectivos valores de vazões afluentes, efluentes e de armazenamento são iguais entre si, ou seja, num ponto qualquer a importância relativa da água afluente para o usuário sobre a vazão afluente é igual à razão do valor de armazenamento (importância relativa do armazenamento para o usuário) sobre o volume armazenamento e assim por diante. Isto pode ser mais bem entendido a partir da figura 2.6 com uma situação hipotética e nas equações que seguem.

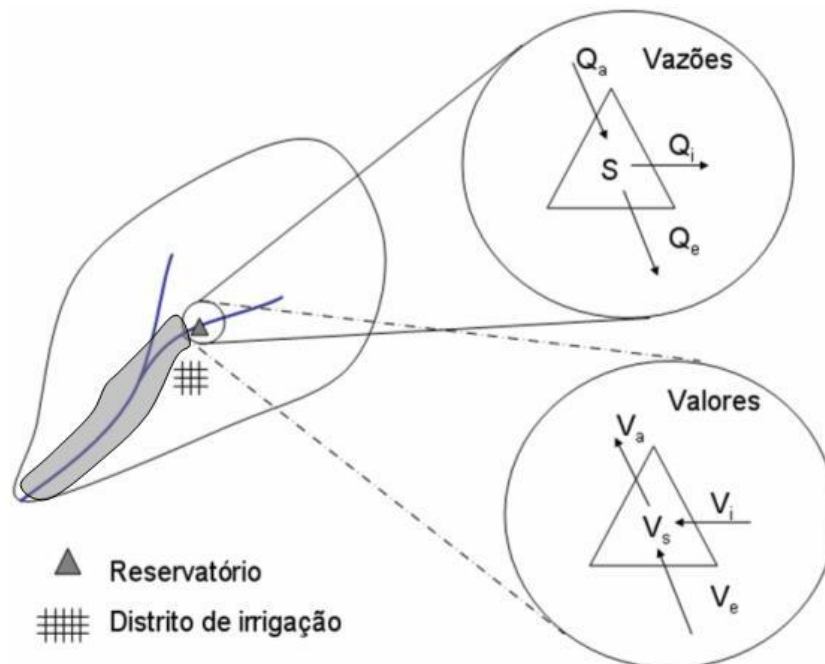


Figura 2.6 - Vazões de entrada, saída e armazenamento; valores de entrada, saída e de armazenamento.

³ Áreas de Preservação Permanente são áreas de grande importância ecológica, que têm como função preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas.

A partir das equações de massa simplificada aplicada a figura 2.4, tem-se que:

$$\frac{dS}{dt} = \text{Entrada} - \text{Saída} \quad (2.8)$$

$$dS = Q_a \cdot dt - (Q_i + Q_e) \cdot dt \quad (2.9)$$

$$S = \text{Vol}_{ent} - \text{Vol}_{sai} \quad (2.10)$$

Onde:

S – Armazenamento do reservatório;

Q_a – Vazão afluente ao reservatório;

Q_i – Vazão demandada para irrigação;

Q_e – Vazão efluente do reservatório;

Vol_{ent} – Volume de entrada no reservatório para certo período;

Vol_{sai} – Volume de saída no reservatório para certo período;

Neste contexto Seyam *et al* (2002) define seu modelo como:

$$\frac{V_a}{Q_a} = \frac{V_s}{S} = \frac{V_e}{Q_e} \quad (2.11)$$

Sendo:

V_a corresponde à importância relativa da água afluente ao ponto;

V_s esta variável responde pelo valor total do armazenamento no local (importância relativa do armazenamento);

V_e corresponde à importância relativa da água (valor indireto) efluente ao ponto;

Q_a igual à vazão de entrada corresponde apenas à vazão que converge ao ponto estudado, excluindo-se as vazões a montante (vazão incremental);

S igual ao volume total armazenado no ponto de estudo, num determinado período, calculado a partir da equação 2.9;

Q_e igual à vazão de saída no ponto estudado;

Considerando a equação 2.10, e após algumas manipulações algébricas chegam-se aos modelos demonstrado por Seyam *et al.*, 2003 (modelos A, B e C). Estes modelos serão explicados a seguir.

Modelo A

O modelo A considera que o hidrograma de entrada e de saída são idênticos, ou seja, o armazenamento não muda no tempo, assim usando apenas a primeira e última parcela da equação 2.10, o valor indireto de entrada/valor indireto de saída é igual a proporção da sua contribuição na vazão total de entrada, como segue na equação 2.11.

$$\frac{V_a}{V_e} = \frac{Q_a}{\sum Q_a} \quad (2.12)$$

Importante destacar que a razão acima (equação 2.11) somente será unitário para os pontos nas cabeceiras das bacias, onde o somatório das vazões será igual à vazão de entrada (incremental) neste ponto, porém nos pontos à jusante esta razão é menor que 1, pois o Q_a apenas corresponderá a vazão que drena (incremental) para este ponto, subtraindo-se assim as vazões dos pontos à montante.

Modelo B

O modelo B considera a dinâmica dos sistemas hídricos com armazenamento, ou seja, hidrograma de entrada e de saída não são necessariamente idênticos. Chapagain, *apud* Seyam *et al.* (2003) propôs levar em consideração os efeitos da flutuação do armazenamento, resultando na equação 2.12.

$$\frac{V_a}{V_e} = \frac{Q_a}{Q_e} \quad (2.13)$$

Modelo C

Este modelo admite que exista armazenamento no local estudado e utilizando as duas primeiras parcelas da equação 2.10, o valor indireto da água/valor do armazenamento torna-se simplesmente a razão da vazão de entrada pelo armazenamento de água no período, vide equação 2.13.

$$\frac{V_a}{V_s} = \frac{Q_a}{S} \quad (2.14)$$

2.4 Uso de modelos de otimização no processo de gestão de recursos hídricos

Nas análises de problema em recursos hídricos geralmente faz-se uso de duas técnicas: simulação para retratar o comportamento da realidade que eles representam e otimizar os processos decisórios que atuam sobre esta realidade em recursos hídricos (Porto *et al.*, 1997). Neste tópico será dada ênfase nas técnicas de otimização, haja vista que se fará uso destas técnicas neste trabalho.

De modo geral, otimização é o processo de determinação do melhor plano, respeitando algumas restrições, podendo ser natureza física ou financeira. Otimização inclui julgamentos humanos, uso de modelos de otimização e ferramentas de suporte a decisão. Segundo Wurbs & James (2002), modelo de otimização é utilizado muitas vezes como sinônimo de programação

matemática, para indicar uma formulação matemática na qual um algoritmo formal é utilizado para calcular o valor de um conjunto de variáveis que maximizam ou minimizam uma função objetivo dependente de um conjunto de restrições.

Os termos fundamentais utilizados na programação matemática em modelos de otimização são os seguintes:

Função objetivo: Função matemática que define a qualidade da solução em função das variáveis de decisão.

Variáveis decisórias: Variáveis para as quais deve ser determinado seu valor ótimo, para que em seu conjunto maximizem ou minimizem a função objetivo.

Parâmetros: São valores fixos no problema.

Restrições: Representam as limitações do problema. Limitam as variáveis decisórias a seus valores viáveis.

Solução ótima: Solução viável, ou seja, satisfaz as restrições e otimiza a função objetivo.

Na resolução de problemas de otimização, citam-se as três técnicas mais conhecidas de programação matemática: Programação Linear, não linear e dinâmica. Programação Linear envolve um problema indeterminado, formulado através de equações e inequações lineares, otimizando a função objetivo, também linear; Programação Não Linear resolve um sistema de equações e inequações, otimizando a função objetivo, sendo que alguma, ou várias destas expressões, não lineares e Programação Dinâmica é resolvida em etapas sucessivas. As decisões tomadas em uma etapa condicionam a evolução futura do sistema.

Com a evolução dos computadores nas últimas décadas têm surgido ferramentas de *software* que permitem solucionar os problemas de otimização de forma satisfatória, em tempos relativamente curtos. Pode-se citar entre outros “pacotes computacionais”: ADS, LANCELOT, GAMS®, CSU-DP, LINDO Systems e o SOLVER da Microsoft Excel®.

2.5 Sistemas de Informação Geográficas

Neste trabalho serão utilizadas técnicas de geoprocessamento, no intuito de ponderar a importância da localização do usuário no contexto da bacia, com o uso dos sistemas de informação geográficas são encontrados parâmetros físicos, como área de contribuição, área a jusante entre outros.

Para que o planejamento dos recursos hídricos possa ser exercido de forma racional e dinâmica, torna-se imperiosa a existência de informações sistematizadas e, sobretudo, de sistemas que articulem essas informações, de modo a processá-la para gerar subsídios às

intervenções e decisões necessárias (Mendes & Cirilo, 2001). O Sistema de Informação Geográfica (SIG) que é definido como uma tecnologia de informação que permite o armazenamento, análise e representação tanto de dados espaciais como de dados não espaciais; têm sido ferramenta importante neste processo.

Segundo Carvalho (2006) SIG é um sistema constituído de duas partes, a parte que é representada pelo computador no uso do *hardware* e um programa executável (*software*) que é um ambiente institucional com o fim de armazenar, manipular, visualizar e analisar dados de natureza espacial. As informações geográficas de um SIG podem ser apresentadas por duas formas de dados para a representação em mapas, denominados vetoriais e raster.

Vetorial: Nesta representação os limites ou o curso das feições são definidos por uma série de pontos que quando unidos em linha formam uma representação gráfica de cada feição onde, a cada ponto está associado um par de coordenadas (x,y). As representações gráficas são apresentadas, por exemplo, por: pontos, linhas ou polígonos.

Raster: Com esta representação gráfica das feições e seus atributos são apresentados arquivos unificados. Ou seja, a área em estudo é subdividida em uma malha de *pixels* nas quais são apresentados os atributos da superfície. Esta malha é organizada por linhas e por colunas, em geral, com origem no canto superior esquerdo. Cada uma dessas células contém um único valor que representa determinada característica da área da superfície a que se refere.

Eastman (1998) apud Carvalho (2006) faz uma sucinta comparação entre as forma de representação em mapas (vetoriais e *raster*), apontando que o sistema *raster* possui maior poder analítico sobre os sistemas vetoriais se o estudo for realizado para dados que variam continuamente no espaço. Esses sistemas possuem resultados rápidos na avaliação de problemas que envolvem várias combinações matemáticas de dados em múltiplos planos. É considerado um sistema excelente para avaliação de modelos ambientais como a erosão potencial do solo, manejo de florestas, o relevo, estudo da biomassa, estudo da pluviosidade, etc. Por outro lado, os sistemas vetoriais não possuem uma ampla gama de funções para a análise de um espaço contínuo, mas levam a vantagem em problemas que envolvem movimentos. Esses sistemas são considerados atrativos para o gerenciamento de bancos de dados, sendo muito eficiente no armazenamento de dados de mapas porque armazenam apenas os limites das aparências e não o que está dentro dos limites.

2.5.1 Modelo Numérico do Terreno

O Modelo Numérico do Terreno será imprescindível na realização deste trabalho, com ele, pode-se extrair informações quanto à localização do usuário na bacia, determinando quais usuários são influenciados por uma eventual intervenção. Além disso, este instrumento serve para obter dados importantes para a regularização de vazões.

O relevo apresenta múltiplas funções na natureza. Todo o processo de transferência dos elementos do ciclo hidrológico, ao longo das bacias, está fundamentalmente baseado na utilização da topografia. O fluxo de água, sedimentos, poluentes, entre outros, obedece á condicionantes topográficos. Com o advento de dados em ambiente de geoprocessamento, aprofundou-se a descrição numérica do terreno através de modelos.

O modelo numérico do terreno (MNT) é um exemplo de representação de mapas de forma matricial (*raster*) que reproduz matematicamente a distribuição geográfica de elevações. Os MNT são derivados de mapas topográficos (curvas de nível). Os modelos numéricos do terreno ou modelos de elevação têm sido largamente utilizados nas geociências e quando usados junto aos sistemas de informações geográfica e técnicas de sensoriamento remoto, permitem estudar a variabilidade de processos físicos na bacia, com uma ampla aplicação em diversas áreas.

Muitos são os atributos extraídos do MNT que tem aplicação na hidrologia, podendo destacar: obtenção de direções e rede de fluxo; extração de redes de drenagem; cálculo de áreas acumuladas; delimitação de sub-bacias; cálculo de curvatura e declividade e identificação de regiões sombreadas, entre outros. Assim, o MNT pode ser considerado de fundamental importância para o trabalho, devido: i) armazenamento de dados de altimetria; ii) análise de variáveis geofísicas; e iii) apresentação tridimensional da bacia.

2.6 Regionalizações de Vazões

A regionalização de vazões pode ser útil na gestão dos recursos hídricos quando se trata de locais com poucos dados. Neste trabalho, a regionalização de vazões pode ser utilizada no método proposto no intuito de quantificar o valor da água em função da temporalidade, em substituição às vazões reais.

Um dos maiores desafios da hidrologia é conhecer adequadamente o comportamento dos processos hidrológicos, porém o conhecimento dos mesmos é apenas qualitativo, o que dificulta o gerenciamento adequado de recursos hídricos. A quantificação dos processos hidrológicos depende das observações das variáveis e os fenômenos que a descrevem ao

longo do tempo, contudo essas variáveis possuem o comportamento aleatório e necessita de amostras confiáveis e representativas para sua estimativa (TUCCI, 2002).

Os dados hidrológicos são medidos em locais definidos, como um pluviômetro na bacia e um posto fluviométrico na seção de um rio. Uma rede hidrométrica desses postos dificilmente cobre os locais de interesse necessários à gestão de recursos hídricos na região. Sempre existirão lacunas temporais e espaciais que necessitam ser preenchidas com base em metodologia mais robustas.

Dáí surge o termo regionalização que tem sido utilizado em hidrologia para denominar a transferência de informações de um local para o outro dentro de uma área com o mesmo comportamento hidrológico. Essa transferência pode ocorrer na forma de uma variável (por exemplo, vazão), função (curva de permanência) e parâmetro (coeficiente de escoamento). A regionalização tem o objetivo de se obter a informação hidrológica em locais sem dados e com poucos dados. Um dos benefícios da regionalização é a possibilidade de explorar melhor as informações disponíveis e identificar lacunas.

A qualidade dos dados hidrológicos é essencial para regionalização. Deve-se destacar que nenhum estudo de regionalização hidrológica substitui uma rede adequada de monitoramento hidrológico. Este tipo de análise retrata espacialmente as informações na rede, que se não forem apropriadas, comprometerão os resultados. A regionalização não é um método seguro para extrapolação hidrológica, devido à variabilidade das escalas dos processos hidrológicos. Existe a tendência de utilização da regionalização de forma generalizada sem um questionamento maior da qualidade de seus resultados. Este tipo de atitude pode comprometer o processo de decisão no gerenciamento dos recursos hídricos, gerando conflitos.

3 DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

Aqui, se propõe uma metodologia para encontrar mecanismos de cobrança pelo uso da água em função da temporalidade e espacialidade. Com o intuito de atender este objetivo, obedece-se uma seqüência de atividades e ferramentas utilizadas neste trabalho mostrado na figura 3.1. A metodologia utilizada neste trabalho será descrita a seguir, antes, porém será lembrado o conceito de valor indireto da água.

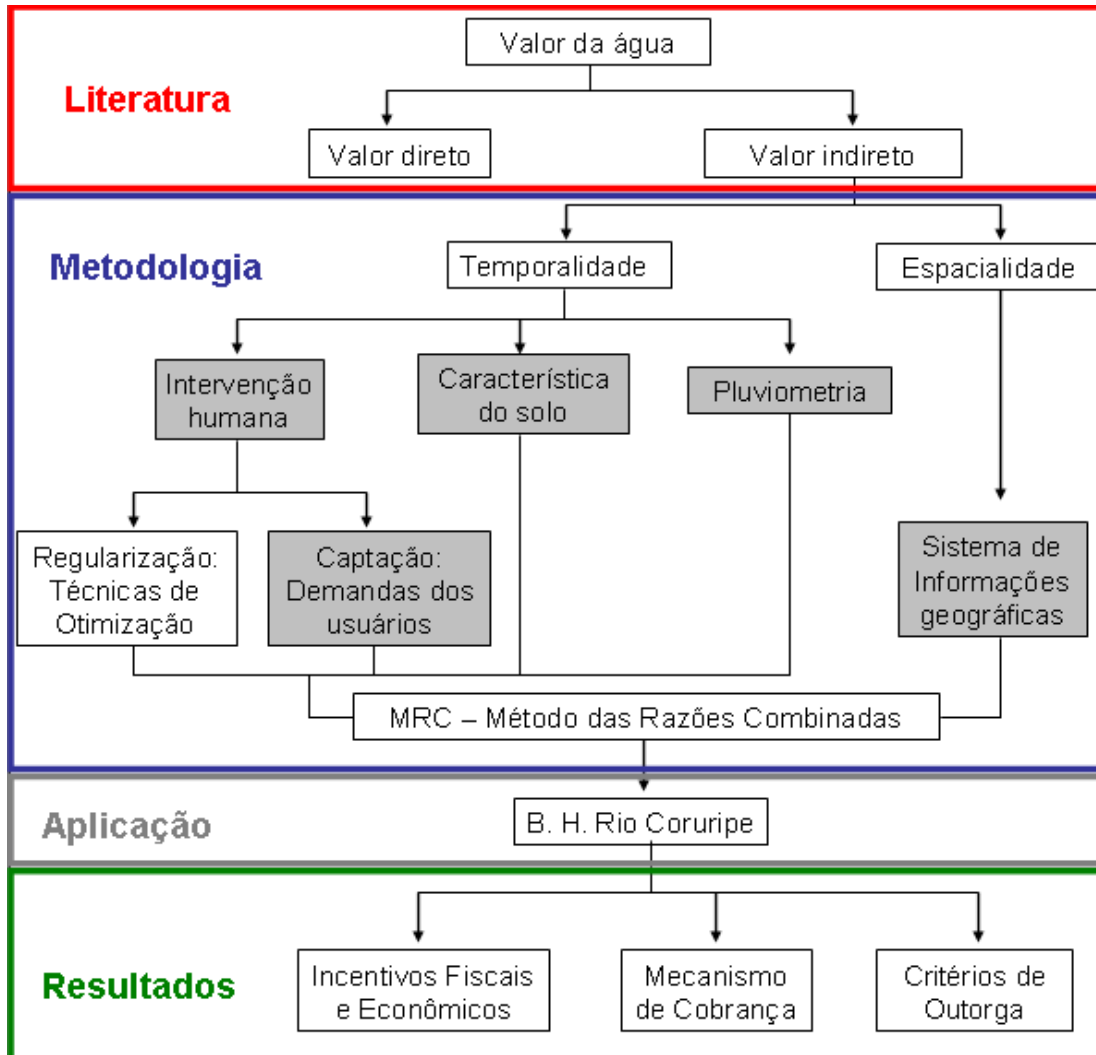


Figura 3.1 – Fluxograma de Atividades.

3.1 Formulação da metodologia

O valor indireto da água é oriundo dos benefícios econômicos que a água pode trazer no seu curso. Qualquer alteração no seu fluxo (regime de vazões) pode ser refletida nos pontos à jusante como também pode interferir na rotina dos usuários à montante, pois essa alteração influencia o fluxo dos trechos à jusante além de indisponibilizar vazões à montante.

Quanto mais a montante ocorre à interferência no regime de vazões, maior será o número de usuário que são prejudicados, conseqüentemente maior também será seu valor indireto.

O método proposto, aqui denominado métodos das razões combinadas (MRC), será dividido em duas parcelas, conforme equação 3.1.

$$MRC = MRC_{local} + MRC_{temp} \quad (3.1)$$

A primeira parcela se refere à localização (MRC_{local}) e a segunda à temporalidade (MRC_{temp}). Destaca-se que estas parcelas são adimensionais. Este método pode ser resumido através da figura abaixo.

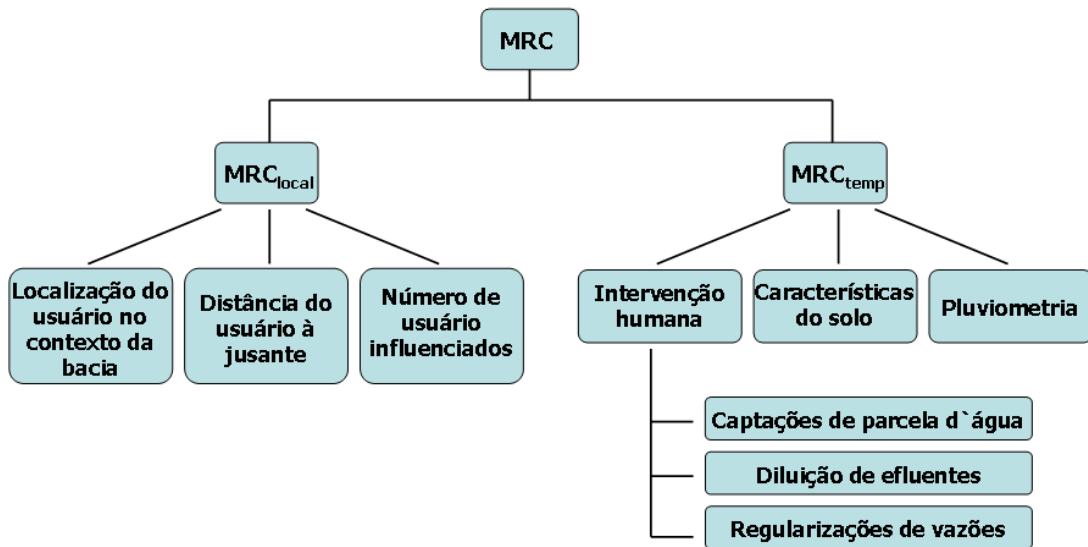


Figura 3.2 - Metodologia utilizada

3.1.1 Parcela da localização (MRC_{local})

Esta parcela pondera a localização do ponto estudado dentro de sua área de influência - A_i (toda a área da bacia hidrográfica que quando realizado uma intervenção num determinado ponto, sofrerá também modificações, quer seja à montante ou à jusante); a proximidade do ponto mais à jusante do local de intervenção - A_{jj} ; além de refletir o número de usuários que serão influenciados (n_j/n_i), com essa eventual interferência. A equação que segue diz respeito a esta parcela.

$$MRC_{local} = \frac{A_{jus}}{[A_i - A_{jj} \cdot (n_j/n_i)]} \quad (3.2)$$

Onde:

A_{jus} = Área jusante ao ponto estudado;

A_i = Área total de influência;

A_{jj} = Área à jusante do ponto mais próximo à jusante;

n_i = número de pontos de demanda à jusante do ponto estudado, considerando sua área de influência;

n_t = número de pontos de demanda inseridos na sua área de influência;

A aplicação desta equação pode ser melhor entendida com o exemplo hipotético que segue. Neste exemplo serão inseridos 3 pontos de estudos distribuídas numa bacia, além do seu exutório, conforme figura 3.3; são exibidas também suas áreas de contribuição/incremental (sub-bacia) obtidas com auxílio de técnicas de geoprocessamento.



Figura 3.3 – Esquema dos pontos de estudo com as sub-bacias.

Estão explicitados todos os parâmetros desta parcela na tabela 3.1. E, complementarmente, serão inseridas as figuras 3.4 a 3.7 explicando passo a passo o cálculo fator locacional para o ponto 2.

Tabela 3.1 – Cálculo da parcela locacional do modelo proposto.

Pontos	$A_{\text{incremental}}(\text{Km}^2)$	$A_i(\text{Km}^2)$	$A_j(\text{Km}^2)$	$A_{jj}(\text{Km}^2)$	n_j	n_i	n_j/n_t	$\text{MRC}_{\text{local}}$
Exutório	127,80	536,08	0,00	0,00	0,00	4,00	0,00	0,00
1	209,92	536,08	326,17	0,00	1,00	4,00	0,25	0,61
2	110,47	259,46	149,00	147,64	2,00	3,00	0,67	0,93
3	87,90	414,20	326,30	147,64	2,00	3,00	0,67	1,03

Salienta-se, como visto na tabela acima, que os valores do $\text{MRC}_{\text{local}}$ podem ser maiores que a unidade (o caso do ponto 3). Analisando a equação 3.2, nota-se que isto pode ocorrer quando o valor da área de contribuição total (à montante) é menor que a parcela $A_{jj} \cdot (n_j/n_i)$. No caso do ponto 3, a área à montante (incremental) é de 87,90 km², porém a área à jusante do ponto mais a jusante (ponto 1) é de 147,64 km² que quando multiplicado pela razão números de usuários influenciados a jusante sobre toda a área de influência (n_j/n_i) totaliza aproximadamente 98,92 km², maior que sua área montante. Mostra-se, então, que esta razão não

pondera apenas a localização do usuário na sua área de influência, como também a proximidade do ponto mais a jusante do local de intervenção e o número de usuários influenciados.



Figura 3.4 – Área da bacia e os pontos de estudo.

Na figura 3.4 encontra-se disposta todos os pontos de estudo na bacia hipotética. Então se seleciona o ponto 2 para demonstrar o passo a passo da aplicação da parcela locacional do método proposto.



Figura 3.5 - Área de influência do ponto 2, número de pontos de estudo à jusante do ponto estudado (2) e número de pontos de demanda inseridos na área de influência (3).

Na figura 3.5 é mostrada de cor marrom a área de influência (A_i) do ponto 2, ou seja, toda a área que sofre influência quando de uma intervenção no ponto. Nesta figura pode-se encontrar também os números de usuários contidos na área de influência (n_i) que é igual a 3; como também o numero de usuários localizados na área a jusante (igual à 2) do ponto estudado (ponto 2).

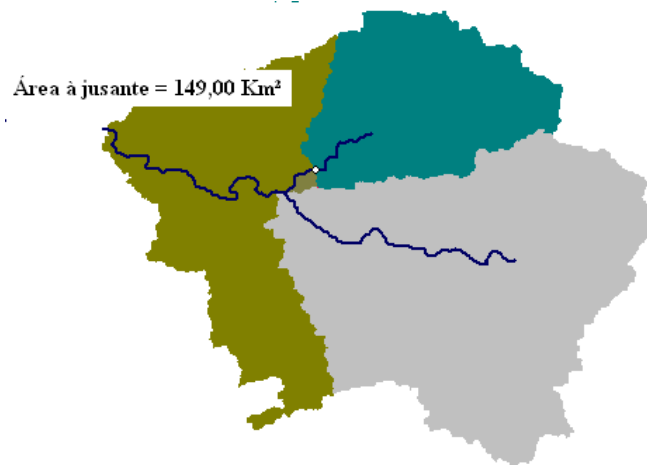


Figura 3.6 – Área a jusante ao ponto 2.

A área a jusante (A_j) ao ponto 2 é encontrada através da área de influência excluindo-se a área à montante (incremental ou de contribuição), conforme pode ser visto na figura 3.6 (área em cor marrom). Como dito anteriormente, o número de usuários à jusante (n_j) são no número de 2; trata-se da número de usuários na área de influência retirando-se os usuários à montante e o próprio ponto de estudo, como a montante do ponto 2 não existe usuários, logo o número de usuário à jusante é dado pelo valor do número de usuário na área de influência subtraindo-se o próprio ponto, resultando o valor de 2.

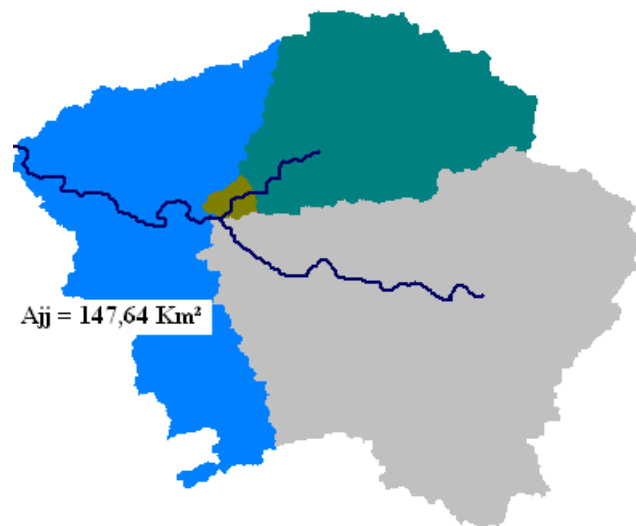


Figura 3.7 - Área á jusante do ponto mais próximo à jusante.

A área a jusante do ponto mais próximo a jusante é representado na figura 3.7 pela área azul. Este parâmetro é calculado através da figura 3.5, onde se definiu a área de influência do ponto 2. Assim definido a área de influência determina-se posteriormente o usuário mais próximo no sentido a jusante. Identificado este ponto, encontra-se a área a jusante deste ponto do mesmo modo que foi determinado para o ponto 2, ou seja, determina-se sua área de influência e subtrai-se a área à montante.

3.1.2 Parcela da sazonalidade (MRC_{temp})

A segunda parcela do método proposto refere-se à temporalidade, esta parcela trata-se de uma razão da vazão modificada pelo usuário sobre a vazão de entrada de parâmetro. Salienta-se que as vazões de parâmetro de entrada tratam-se de uma vazão calculada de forma simplificada, que não representa a disponibilidade hídrica da região, onde são refletidas as características sazonais da região onde o método foi aplicado. Esta razão pode variar entre 0 (zero) e 1 (um), quanto mais próxima à modificação realizada pelo usuário do valor da vazão de entrada do parâmetro, maior a alteração no regime hidrológico da bacia e conseqüentemente nos usuários. Esta parcela é descrita na equação 3.3.

$$MRC_{temp} = \frac{Q_{mod}}{\hat{Q}_a} \quad (3.3)$$

Onde:

Q_{mod} = Vazão modificada pelo usuário; e

\hat{Q}_a = Vazão afluyente de parâmetro, indica a sazonalidade no local.

Para um local onde exista uma captação de água, a Q_{mod} pode ser representada apenas pelo valor da demanda (D), para locais com lançamento de efluentes a Q_{mod} é representada pelo volume necessário para dissolver o poluente. Nos locais onde há regularização de vazões devido a uma obra hidráulica a Q_{mod} é representado pela seguinte equação.

$$Q_{mod} = \left| \hat{Q}_a - \hat{Q}_e \right| \quad (3.4)$$

Onde: \hat{Q}_a é igual à vazões afluentes (entrada) de parâmetro no reservatório;

\hat{Q}_e corresponde às vazões efluentes (saída) de parâmetro com o efeito da regularização, devido à obra hidráulica (a metodologia que rege a regularização de vazões neste estudo será explicitada a seguir);

A vazão de entrada de parâmetro em cada ponto 'i' é calculada segundo a equação 3.5, ou seja, equação de conservação de massa.

$$\hat{Q}_a^i = \sum_{mon} \hat{Q}_e + \hat{Q}_{inc}^i \quad (3.5)$$

Onde:

$\sum_{mon} \hat{Q}_e$ é a soma de todas as vazões mensais de parâmetros de saída nos pontos a montante; e

\hat{Q}_{inc}^i = Vazões mensais incrementais, calculadas segundo a equação 3.6. As vazões são dadas pela soma do escoamento superficial com o escoamento de base.

$$\hat{Q}_{inc}^i = Q_{sup} + Q_{base} \quad (3.6)$$

Neste trabalho, de forma muito simplificada, assumiu-se que escoamento superficial (Q_{sup}) é calculado a partir da equação 3.7.

$$Q_{sup} = 0,385 \cdot C \cdot A \cdot P \quad (3.7)$$

Onde:

A = área de incremental de contribuição em Km², mostrado na figura 3.3 e tabela 3.1;

P = Pluviometria hipotética mensal em m; e

C = Coeficiente de Escoamento;

Por outro lado, a vazão de base será dada pela equação 3.8.

$$Q_{base} = 0,385 \cdot (1 - C) \cdot A \cdot P_{sem} \cdot \phi \quad (3.8)$$

Sendo A e C com o mesmo significado da equação 3.7; ϕ é um parâmetro empírico, proporcional à permeabilidade das camadas mais superficiais do solo e à facilidade que tem de contribuir para a formação de escoamento através da percolação, além de representar a parcela evaporativa da água e P_{sem} definido arbitrariamente como a chuva média dos seis meses antecedentes ao mês estudado, isto porque se sabe que o escoamento de base é mais lento que o escoamento superficial.

Por outro lado, as vazões efluentes de parâmetros em locais que não existe o efeito da regularização são calculadas a partir do principio de balanço de massa em um ponto, onde se determina que a vazão de saída de parâmetro é igual à vazão de parâmetro de entrada subtraindo-se a vazão modificado, podendo ser visto na equação 3.9. Se a vazão modificada for maior que a vazão de parâmetro de entrada a vazão de parâmetro de saída é considerada nula.

$$\hat{Q}_e^i = \hat{Q}_a^i - Q_{mod}^i \quad (3.9)$$

Importante destacar que a vazão de parâmetro, quer seja de entrada ou de saída não representam a disponibilidade hídrica no local, mas serve como um ponderador para auxiliar na procura de uma metodologia que represente o conceito temporal do valor indireto da água. Destaca-se, também que as vazões de parâmetros podem ser substituídas por vazões reais ou por valores de vazões calculados como métodos mais sofisticados, como: regionalizações de vazões e modelagem chuva-vazão; sobretudo as vazões de parâmetro não representar as características temporais do local de aplicação do método.

Para o caso de locais (usuários ‘i’) com reservatório, a vazão de saída de parâmetro é igual à vazão regularizada. Assim, realiza-se o balanço hídrico no reservatório, a partir da equação abaixo.

$$S_t + \hat{Q}_a^t - \hat{Q}_e^t - L_t = S_{t+1} \quad (3.10)$$

Onde:

S_t volume armazenado no período, m³/s;

\hat{Q}_a^t vazão de entrada do reservatório no período de tempo ‘t’ estudado, m³/s;

\hat{Q}_e^t vazão de saída do reservatório (vazão regularizada) no tempo ‘t’, m³/s;

L_t perdas por evaporação e infiltração da barragem, m³/s;

S_{t+1} é o volume armazenado no período posterior, m³/s;

As perdas da barragem são calculadas segundo Loucks (1981) que admite as perdas por infiltração desprezíveis, considerando apenas as perdas por evaporação. Este autor admite que a evaporação de um reservatório é dado pela soma de duas parcelas: uma correspondente a média dos volume armazenados no período de simulação e no período anterior; e a outra parcela correspondente à área de inundação do volume morto. Leia-se volume ‘evaporado’ a multiplicação da área de inundação pela taxa de evaporação do local. Assim, as perdas podem ser calculadas da seguinte forma:

$$L_t = A_a \cdot S_m \cdot e_t + A_0 \cdot e_t \quad (3.11)$$

Onde:

A_a corresponde ao coeficiente angular da reta ajustada aos pontos da curva volume x área no estágio operacional (entre o volume morto e volume máximo) em unidades de área sobre unidade de volume, ver figura 3.8;

S_m : volume médio de armazenado entre o período de simulação e o período anterior;

e_t : taxa de evaporação, unidades de comprimento (altura);

A_0 área correspondente ao volume morto.

Cabem alguns comentários sobre o parâmetro A_a , este parâmetro é obtido a partir da curva volume armazenado x área de inundação, onde após a elaboração desta curva identifica-se o estágio operacional da barragem, que corresponde à faixa compreendida entre o volume morto e o volume máximo para qual a barragem foi dimensionada. Assim, realiza-se um ajuste linear para todos os pontos desta curva inseridos no estágio operacional, obtendo-se a equação de uma reta que relaciona área inundada a partir do volume armazenado. Logo, o coeficiente angular desta reta trata-se do parâmetro A_a .

O volume médio armazenado entre os dois períodos (de simulação e o anterior) pode ser representado como a média ponderada destes dois períodos, assim a equação 3.11 pode ser escrita conforme a equação 3.12:

$$L_t = A_a \cdot e_t \cdot \left(\frac{S_t + S_{t+1}}{2} \right) + A_0 \cdot e_t \quad (3.12)$$

Onde:

S_t volume armazenado no período, m³/s;

S_{t+1} é o volume armazenado no período posterior, m³/s; e

Desenvolvendo esta equação, temos:

$$L_t = 0.5 \cdot A_a \cdot e_t \cdot S_t + 0.5 \cdot A_a \cdot e_t \cdot S_{t+1} + A_0 \cdot e_t \quad (3.13)$$

Para efeito simplificador desta metodologia, Loucks (1981) considera ainda o parâmetro mostrado na equação que segue.

$$a_t = 0.5 \cdot A_a \cdot e_t \quad (3.14)$$

Então:

$$L_t = a_t \cdot S_t + a_t \cdot S_{t+1} + A_0 \cdot e_t \quad (3.15)$$

Combinando-se a equação 3.15 na equação do balanço hídrico na barragem (equação 3.10); esta equação pode ser vista da seguinte maneira.

$$S_t + \hat{Q}_a^t - \hat{Q}_e^t - (a_t \cdot S_t + a_t \cdot S_{t+1} + A_0 \cdot e_t) = S_{t+1} \quad (3.16)$$

Desenvolvendo esta sentença e levando para o lado esquerdo da equação todas as parcelas que contêm armazenamentos (S_t e S_{t+1}), encontra-se:

$$(1 + a_t) \cdot S_{t+1} - (1 - a_t) \cdot S_t = \hat{Q}_a^t - \hat{Q}_e^t - A_0 \cdot e_t \quad (3.17)$$

Assim, a regularização foi feita utilizando técnicas de otimização onde se procurava maximizar as vazões de saída do reservatório, mostrada na equação abaixo (função objetivo).

$$\text{Maximiza } \hat{Q}_e^t \quad (3.18)$$

As restrições são de ordem física e hidrológica. As restrições de natureza física diz respeito à capacidade máxima do reservatório (K_a) que, obviamente, não pode ser excedida pelo volume armazenado em cada período (S_t), conforme pode ser visto na equação 3.19.

$$S_t \leq K_a \quad (3.19)$$

As restrições de natureza hidrológica se referem aos balanços hídricos no reservatório em cada período de aplicação desta metodologia, e estão contemplados na equação 3.17.

Quanto ao modelo proposto, no intuito de compreender o emprego desta parcela (MRC_{temp}), será realizada sua aplicação no exemplo hipotético do item anterior. Admitindo-se que no ponto 3 existe uma indústria que lança efluente no rio, enquanto que no ponto 1, existe uma demanda de irrigação. No ponto 2 existe uma barragem para regularização. Por fim, no exutório da bacia considera-se que deve ser mantida uma vazão remanescente. A tabela 3.4 contém as especificidades de cada ponto de estudo, como a distribuição temporal das demandas, como também o tipo de usuário.

Antes da aplicação do método proposto, será explicitado, a partir da metodologia citada anteriormente, como foi realizado o pré-processamento dos dados no ponto 1 e 2, dando-se uma atenção especial ao ponto 2 que se trata de um ponto com regularização de vazões. Importante ressaltar que para os pontos 3 e o exutório não serão explicitadas o pré-processamento dos dados, pois o ponto 1 é representativo para estes pontos (3 e exutório), dado que estes não se trata de pontos com regularização de vazões.

Pré-processamento dos dados – Ponto 2

Para a regularização das vazões foi utilizada a curva volume armazenado x área⁴, encontrando assim: o volume morto de cerca de 16.10^6 m³ e sua correspondente área (A_0), estimado quando esta curva muda de sentido (vide figura 3.8). Como se trata de um exemplo hipotético o volume máximo foi admitido (cerca de 68.10^6 m³), conhecido os volume máximo e morto é possível identificar o estágio operacional do reservatório e com isso encontrar o coeficiente angular da reta ajustada aos pontos da curva volume x área neste estágio (A_a – equação 3.11). Foi admitida a taxa de evaporação constante de 100 mm/mês. A figura 3.8 ilustra a curva volume x área no ponto estudado em vermelho, identifica o estágio operacional e a reta ajustada neste período.

As vazões de entrada de parâmetro (\hat{Q}_a) no reservatório foram calculadas a partir da equação 3.5. Importante destacar que o ponto de instalação da barragem (ponto 2) não possui pontos de estudos a montante (conforme pode ser visto na figura 3.3) portanto a variável $\sum_{mon} \hat{Q}_e$ é igual a zero. O período da simulação é de 12 meses. A pluviometria da região é dada pela tabela 3.2 (admite-se que no ano anterior ao período dessa simulação, o regime de chuva da região teve o mesmo comportamento para o cálculo das vazões de base Q_{base}), o coeficiente de

⁴ A curva cota x área x volume desta barragem foi obtida através do Modelo Numérico do Terreno do local de instalação.

escoamento (C) adotado foi de 0,35 e o ϕ (coeficiente empírico da permeabilidade dos solos) igual à 0,0746.

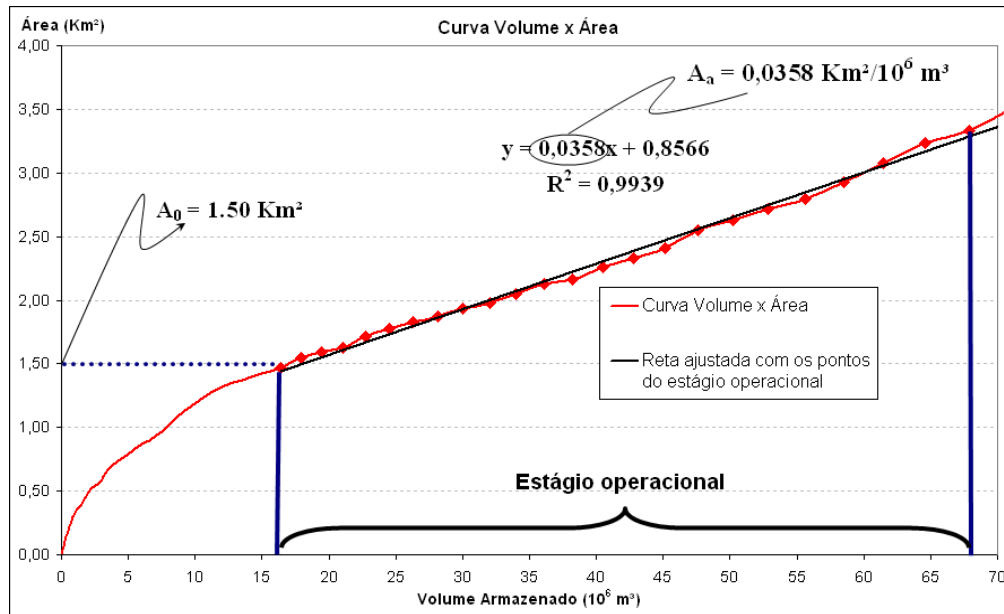


Figura 3.8 – Curva volume x área da barragem situado no ponto 2.

Tabela 3.2 – Pluviometria da região hipotética.

Mês	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Chuva (mm)	30	50	100	150	300	500	600	350	130	90	60	40

Para melhor compreensão de cálculo da variável vazão de entrada \hat{Q}_a , será descrito o passo a passo da sua obtenção e os valores dos parâmetros usados para o mês 4, logo:

- $P = 150$ mm ou **0,15 m**, obtido da tabela 3.2;
- Área de montante (incremental) igual à **110,47 Km²** (tabela 3.1);
- Coeficiente de escoamento definido arbitrariamente como **0,35**

Assim fazendo uso da equação 3.7 ($Q_{sup} = 0,385 \cdot C \cdot A \cdot P$), pode-se encontrar a vazão superficial para o local da barragem para o mês 4, totalizando **2,238 m³/s**. Continuando, tem-se:

- ϕ – coeficiente empírico da permeabilidade dos solos adotado igual à **0,0746**.
- A chuva média dos seis meses antecedentes (P_{sem}); admitindo-se que no ano anterior ao período dessa simulação, o regime de chuva da região teve o mesmo comportamento; é igual às médias dos valores dos correspondentes aos meses 3, 2, 1, 12, 11 e 10 da tabela 3.2. Assim, é a média aritmética dos valores de 100, 50, 30, 40, 60, 90; encontrando-se o valor de 61,667 mm ou **0,0616m**.

Então a vazão de base neste ponto para o mês 4, utilizando-se a equação 3.8 ($Q_{base} = 0,385 \cdot (1 - C) \cdot A \cdot P_{sem} \cdot \phi$) fica igual a **0,127 m³/s**. Em seguida encontra-se o valor da

vazão incremental de parâmetro (calculada como a soma da vazão superficial com a de base) conforme a equação 3.6 ($\hat{Q}_{inc} = Q_{sup} + Q_{base}$), perfazendo **2,365 m³/s**. Por fim, a vazão de entrada de parâmetro no reservatório para este mês é obtido a partir da equação 3.5 ($\hat{Q}_a^i = \sum_{mon} \hat{Q}_e + \hat{Q}_{inc}^i$), sabendo que a parcela $\sum_{mon} \hat{Q}_e$ é nula pois o ponto de instalação da barragem não possui pontos de estudo a montante. Logo a vazão de entrada para este mês é igual à **2,365 m³/s**. A seguir será demonstrada como foi calculada as vazões de saída no reservatório.

Com os dados, como vazões de entrada, dados de evaporação obtidos a partir da curva volume x área; foi feita a regularização utilizando técnicas de otimização. A otimização foi realizada fazendo uso das equações 3.17, 3.18 e 3.19, ou seja, procuraram-se maximizar as vazões efluentes do reservatório em cada período (equação 3.18), dadas as restrições de ordem física (equação 3.19) e hidrológica (equação 3.17). Neste processo de otimização foram calculadas as vazões de saída (\hat{Q}_e) para o ponto onde está localizada a barragem, conforme as equações abaixo.

$$\text{Maximize } \hat{Q}_e^t, t = 1, \dots, 12 \quad (3.20)$$

$$(1 + a_t) \cdot S_{t+1} - (1 - a_t) \cdot S_t = \hat{Q}_a^t - \hat{Q}_e^t - A_0 \cdot e_t, t = 1, \dots, 12 \quad (3.21)$$

$$S_t \leq K_a, t = 1, \dots, 12 \quad (3.22)$$

Nesta simulação foi utilizado o comando solver do Excel®, preenchendo uma tabela para a utilização desta ferramenta, conforme demonstrado na revisão bibliográfica que pode ser visto na figura 3.9.

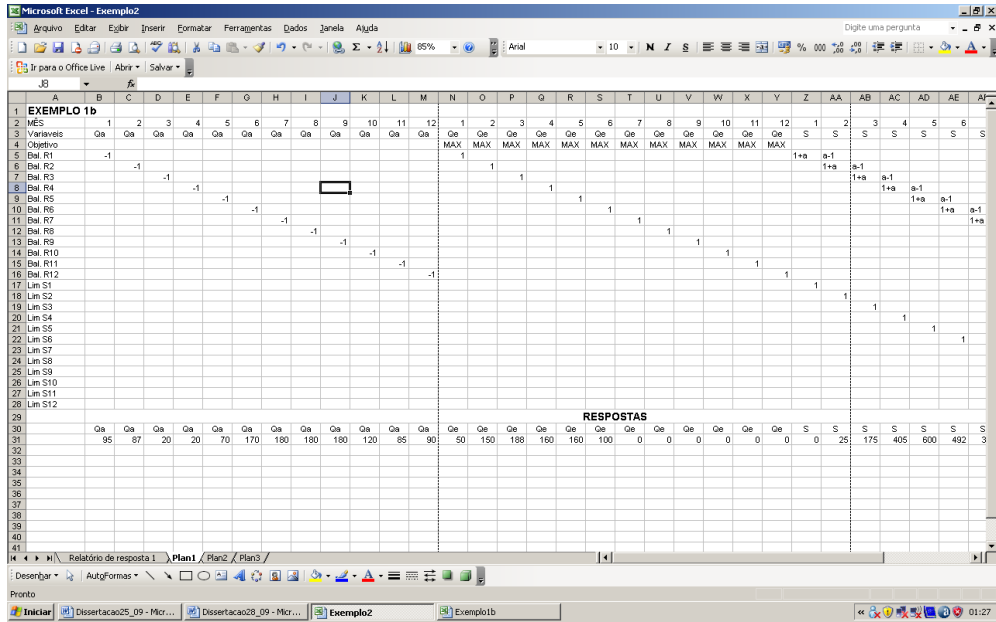


Figura 3.9 – Tabela para uso do comando solver.

Os resultados encontrados seguem na figura 3.10 e tabela 3.3.

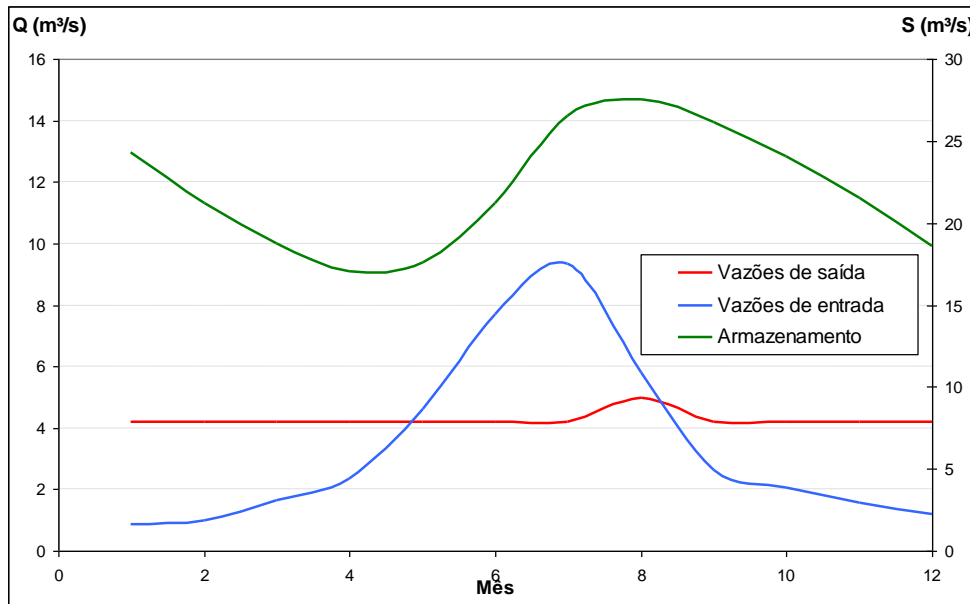


Figura 3.10 – Vazões afluentes, efluentes e armazenamento no ponto 2.

Pré-processamento dos dados – Ponto 1

Quanto aos outros pontos de estudos, a tabela 3.4 contém as especificidades de cada ponto desses, como a distribuição temporal das demandas, e o tipo de usuário e suas localizações são mostradas na figura 3.3.

Sabendo que os pontos 1, 3 e o exutório possuem características semelhante no que concerne ao tipo de modificação realizada; ou seja, não se trata de intervenção que objetiva a regularizações de vazões; será demonstrado apenas o pré-processamento para o ponto 1, mas

salienta-se que os procedimentos aqui demonstrados apenas para o ponto 1, são semelhantes para o ponto 3 e o exutório.

Tabela 3.3 – Resultados da otimização.

Mês	\hat{Q}_a (m ³ /s)	S (m ³ /s)	\hat{Q}_e (m ³ /s)
1	0,885	24,295	4,184
2	0,987	21,178	4,184
3	1,629	18,719	4,184
4	2,365	17,006	4,184
5	4,623	17,568	4,184
6	7,689	21,217	4,184
7	9,339	26,529	4,184
8	5,806	27,525	4,985
9	2,628	26,123	4,184
10	2,042	24,077	4,184
11	1,574	21,54	4,184
12	1,193	18,599	4,184

Análogo ao ponto 2 (ponto de instalação da barragem), o cálculo das variáveis Q_{sup} e Q_{base} para os outros pontos são feitos do mesmo modo. Porém, para auxiliar na fixação das etapas desta metodologia, será descrito novamente o passo a passo da sua obtenção e os valores dos parâmetros usados para o mês 4, desta vez para o ponto 1, assim:

Tabela 3.4 – Demanda e tipo de usuários dos pontos de estudo.

	Exutório	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Uso	Manutenção dos ecossistemas aquáticos	Irrigação	Regularização de vazões	Diluição de efluentes
Demanda (m³/s)				
Janeiro	20.00	0.00	4.18*	1.97
Fevereiro	20.00	0.00	4.18*	1.97
Março	20.00	0.00	4.18*	1.97
Abril	20.00	22.00	4.18*	1.97
Mai	20.00	22.00	4.18*	1.97
Junho	20.00	22.00	4.18*	1.97
Julho	20.00	22.00	4.18*	1.97
Agosto	20.00	22.00	4.18*	1.97
Setembro	20.00	22.00	4.18*	1.97
Outubro	20.00	0.00	4.18*	1.97
Novembro	20.00	0.00	4.18*	1.97
Dezembro	20.00	0.00	4.18*	1.97

* vazão regularizada com 90% de garantia.

- P = 150 mm ou **0,15 m**, obtido da tabela 3.2;
- Área de montante igual à **209,92 Km²** (tabela 3.1);
- Coeficiente de escoamento definido arbitrariamente como **0,35**;

Assim fazendo uso da equação 3.7 ($Q_{sup} = 0,385 \cdot C \cdot A \cdot P$), encontra-se a vazão superficial para o ponto 1 no mês 4, igual à **4,252 m³/s**. Continuando, tem-se:

- ϕ – coeficiente empírico da permeabilidade dos solos adotado igual à **0,0746**.
- A chuva média dos seis meses antecedentes (P_{sem}); admitindo-se que no ano anterior ao período dessa simulação, o regime de chuva da região teve o mesmo comportamento; é igual às médias dos valores dos correspondentes aos meses 3, 2, 1, 12, 11 e 10 da tabela 3.2. Assim, é a média aritmética dos valores de 100, 50, 30, 40, 60, 90; encontrando-se o valor de 61,667 mm ou **0,0616m**.

Então a vazão de base neste ponto para o mês 4, utilizando-se a equação 3.8 ($Q_{base} = 0,385 \cdot (1 - C) \cdot A \cdot P_{sem} \cdot \phi$) fica igual a **0,242 m³/s**. Em seguida encontra-se o valor da vazão incremental de parâmetro (calculada como a soma da vazão superficial com a de base)

conforme a equação 3.6 ($\hat{Q}_{inc} = Q_{sup} + Q_{base}$), totalizando **4,494 m³/s**. Por fim, a vazão de parâmetro total de entrada no reservatório para este mês é calculado a partir da equação 3.5 ($\hat{Q}_a = \sum_{mon} \hat{Q}_e + \hat{Q}_{inc}$).

Por se tratar de um local que possui pontos de estudos à montante, logo a parcela $\sum_{mon} \hat{Q}_e$ não é nula, é igual à soma das vazões de saída de parâmetro dos pontos à montante, ou seja, pontos 2 e 3; que são respectivamente **4,184 m³/s e zero**. Assim a vazão total de entrada no ponto 1 é igual a soma da vazão incremental de entrada (**4,494 m³/s**) com a vazões de saída dos pontos a montante (**4,184 m³/s**) totalizando **8,678 m³/s**. Como não se trata de um ponto de regularização de vazões, a vazão de saída de parâmetro no ponto 1 para o mês 4

pode ser calculada pela equação 3.9 ($\hat{Q}_e = \hat{Q}_a - Q_{mod}$), dado que a modificação realizada neste ponto é uma captação de água com demanda de 22 m³/s no mês de abril (ver tabela 3.3), logo o Q_{mod} é igual à **22 m³/s**. Assim a vazão de saída de parâmetro no ponto 1 é igual **zero**, pois a vazão de parâmetro de entrada é menor que a vazão modificada. Os valores dos parâmetros indicados na etapa do pré-processamento da metodologia proposta podem ser vista a partir da Tabela 3.5, onde na região sombreada verifica-se os valores citados para os pontos 1 e 2.

Tabela 3.5 – Pré-processamento dos dados

Ponto	Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Exut.	Q_{sup} (m ³ /s)	0,518	0,863	1,726	2,589	5,177	8,628	10,354	6,040	2,243	1,553	1,035	0,690
	Q_{base} (m ³ /s)	0,506	0,279	0,159	0,147	0,171	0,267	0,450	0,677	0,797	0,809	0,785	0,689
	\hat{Q}_{inc} (m ³ /s)	1,024	1,142	1,885	2,736	5,348	8,895	10,804	6,717	3,040	2,362	1,820	1,380
	$\sum_{mon} \hat{Q}_e$ (m ³ /s)	5,866	6,060	7,281	0,000	0,000	0,944	5,392	0,000	0,000	0,000	7,174	6,450
	\hat{Q}_a (m ³ /s)	6,89	7,20	9,17	2,74	5,35	9,84	16,20	6,72	3,04	2,36	8,99	7,83
	Q_{mod} (m ³ /s)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
	\hat{Q}_e (m ³ /s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	Q_{sup} (m ³ /s)	0,850	1,417	2,835	4,252	8,504	14,173	17,007	9,921	3,685	2,551	1,701	1,134
	Q_{base} (m ³ /s)	0,831	0,458	0,262	0,242	0,281	0,439	0,740	1,113	1,309	1,329	1,289	1,132
	\hat{Q}_{inc} (m ³ /s)	1,682	1,875	3,096	4,494	8,785	14,611	17,747	11,034	4,994	3,880	2,990	2,266
	$\sum_{mon} \hat{Q}_e$ (m ³ /s)	4,184	4,184	4,184	4,184	5,893	8,332	9,645	7,635	4,184	4,184	4,184	4,184
	\hat{Q}_a^i (m ³ /s)	5,866	6,060	7,281	8,678	14,678	22,944	27,392	18,668	9,299	8,064	7,174	6,450
	Q_{mod} (m ³ /s)	0	0	0	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	0	0
	\hat{Q}_e (m ³ /s)	5,866	6,060	7,281	0	0	0,944	5,392	0	0	0	7,174	6,450
2	Q_{sup} (m ³ /s)	0,448	0,746	1,492	2,238	4,475	7,458	8,950	5,221	1,939	1,343	0,895	0,597
	Q_{base} (m ³ /s)	0,437	0,241	0,138	0,127	0,148	0,231	0,389	0,586	0,689	0,699	0,679	0,596
	\hat{Q}_{inc} (m ³ /s)	0,885	0,987	1,629	2,365	4,623	7,689	9,339	5,806	2,628	2,042	1,574	1,193
	$\sum_{mon} \hat{Q}_e$ (m ³ /s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	\hat{Q}_a (m ³ /s)	0,885	0,987	1,629	2,365	4,623	7,689	9,339	5,806	2,628	2,042	1,574	1,193
	\hat{Q}_e^i (m ³ /s)	4,184	4,184	4,184	4,184	4,184	4,184	4,184	4,985	4,184	4,184	4,184	4,184
	Q_{mod} (m ³ /s)	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970
3	Q_{sup} (m ³ /s)	0,356	0,593	1,187	1,780	3,561	5,935	7,122	4,154	1,543	1,068	0,712	0,475
	Q_{base} (m ³ /s)	0,348	0,192	0,11	0,101	0,118	0,184	0,31	0,466	0,548	0,556	0,54	0,474
	\hat{Q}_{inc} (m ³ /s)	0,704	0,785	1,297	1,882	3,679	6,118	7,431	4,620	2,091	1,625	1,252	0,949
	$\sum_{mon} \hat{Q}_e$ (m ³ /s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	\hat{Q}_a (m ³ /s)	0,704	0,785	1,297	1,882	3,679	6,118	7,431	4,620	2,091	1,625	1,252	0,949
	Q_{mod} (m ³ /s)	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970
	\hat{Q}_e^i (m ³ /s)	0	0	0	0	1,709	4,148	5,461	2,650	0,121	0	0	0

Aplicação da parcela temporal do método das razões combinadas

A seguir será descrita a aplicação da parcela temporal do método das razões combinadas. Tomando por base a tabela 3.5, escolhendo a coluna de abril, tem-se a vazão de entrada em cada ponto, demonstrada como foi calculada no item anterior do pré-processamento dos dados. Por exemplo, a vazão de parâmetro de entrada no ponto 1 é igual **8,68 m³/s** e a vazão

modificada (Q_{mod}) é a demanda para irrigação no mês abril que é igual a **22 m³/s** (da tabela 3.4), logo o MRC_{temp} neste ponto e para este mês é igual a divisão do valor de **22,00 m³/s** pelo valor **8,68 m³/s** encontrando 2,54; que somado a MRC_{local} explicitado antes (**0,61**), tem-se o MRC para este ponto e mês igual **3,15**.

Da mesma forma são calculados o MRC_{temp} e MRC para os outros pontos e meses, exceto para o ponto 2, onde existe uma regularização de barragem, na qual diverge apenas o cálculo da vazão modificada, assim para melhor compreensão será explicitado passo a passo para o próprio mês de abril o cálculo destas variáveis. A vazão de parâmetro de entrada neste ponto foi explicitado no item de pré-processamento dos dados, como também a vazão de parâmetro de saída que é calculada através de técnicas de otimização descrito anteriormente. De posse das vazões de parâmetro de entrada e saída, pode-se calcular a vazão modificada

conforme a equação 3.4 ($Q_{\text{mod}} = \left| \hat{Q}_a - \hat{Q}_e \right|$), assim segundo a tabela 3.5 a vazão de parâmetro de

entrada é igual à **2,36 m³/s** e a vazão de parâmetro de saída é igual **4,18 m³/s** (tabela 3.3), logo o módulo das diferença destes dois valores resultam **1,82 m³/s**, logo pode-se dizer que a vazão modificada no ponto 2 para o mês de abril é igual 1,82 m³/s. Prosseguindo o cálculo da parcela da temporalidade do método das razões combinadas, assim a partir da equação 3.3 (

$MRC_{\text{temp}} = \frac{Q_{\text{mod}}}{\hat{Q}_a}$) e conforme já dito que a vazão de parâmetro de entrada é igual à **2,36 m³/s**,

dividindo-se o valor de 1,82 m³/s correspondente a vazão modificada pelo valor de 2,36 m³/s (vazão de parâmetro de entrada), encontra-se o valor de **0,77**. Somando-se a MRC_{local} calculado antes (**0,93**), encontra-se o valor de **1,70** para MRC neste ponto e mês, conforme região sombreada da tabela 3.6. Todos os resultados estão descritos na tabela 3.6 e serão comentados no próximo item, quando esta metodologia será comparada com os modelos indicados na revisão bibliográfica.

Tabela 3.6 – Cálculo do modelo proposto para o exemplo hipotético.

Ponto	Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Exutório	\hat{Q}_a (m ³ /s)	6,89	7,20	9,17	2,74	5,35	9,84	16,20	6,72	3,04	2,36	8,99	7,83
	Q _{mod} (m ³ /s)	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
	MRC _{temp}	2,90	2,78	2,18	7,31	3,74	2,03	1,23	2,98	6,58	8,47	2,22	2,55
	MRC _{local}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	MRC	2,90	2,78	2,18	7,31	3,74	2,03	1,23	2,98	6,58	8,47	2,22	2,55
1	\hat{Q}_a (m ³ /s)	5,87	6,06	7,28	8,68	14,68	22,94	27,39	18,67	9,30	8,06	7,17	6,45
	Q _{mod} (m ³ /s)	0,00	0,00	0,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	22,00	0,00	0,00
	MRC _{temp}	0,00	0,00	0,00	2,54	1,50	0,96	0,80	1,18	2,37	2,73	0,00	0,00
	MRC _{local}	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61
	MRC	0,61	0,61	0,61	3,15	2,11	1,57	1,41	1,79	2,98	3,34	0,61	0,61
2	\hat{Q}_a (m ³ /s)	0,88	0,99	1,63	2,36	4,62	7,69	9,34	5,81	2,63	2,04	1,57	1,19
	Q _{sai} (m ³ /s)	4,18	4,18	4,18	4,18	4,18	4,18	4,18	4,98	4,18	4,18	4,18	4,18
	Q _{mod} (m ³ /s)	3,30	3,19	2,55	1,82	0,44	3,51	5,16	0,83	1,55	2,14	2,61	2,99
	MRC _{temp}	3,73	3,24	1,57	0,77	0,09	0,46	0,55	0,14	0,59	1,05	1,66	2,51
	MRC _{local}	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
	MRC	4,66	4,17	2,50	1,70	1,02	1,39	1,48	1,07	1,52	1,98	2,59	3,44
3	\hat{Q}_a (m ³ /s)	0,70	0,79	1,30	1,88	3,68	6,12	7,43	4,62	2,09	1,62	1,25	0,95
	Q _{mod} (m ³ /s)	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97
	MRC _{temp}	2,80	2,51	1,52	1,05	0,54	0,32	0,27	0,43	0,94	1,21	1,57	2,08
	MRC _{local}	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
	MRC	3,83	3,54	2,55	2,08	1,57	1,35	1,30	1,46	1,97	2,24	2,60	3,11

3.2 Exemplo de Aplicação

Com o objetivo validar o modelo proposto e esclarecer o uso dos modelos indicados na revisão bibliográfica que avaliam o valor indireto da água, foi realizada uma aplicação, no exemplo hipotético relatado anteriormente, destes modelos com posterior comparações com o método proposto.

3.2.1 Simulação nos modelos da literatura

Como visto na revisão bibliográfica os modelos da literatura necessitam de valores de vazões reais, mas por ser tratar de um exemplo hipotético, para efeito simplificador essas vazões nos pontos serão consideradas como as vazões de parâmetro que foram introduzidas no item de formulação da metodologia. Deve-se destacar que na ausência de dados de vazões usam-se, como alternativa modelagem chuva-vazão, regionalizações de vazões e outros. Repetindo-se, a pluviometria da região é dada pela tabela 3.2. O período desta simulação é de 12 meses, o coeficiente de escoamento (C) adotado foi de 0,35 e o ϕ (coeficiente empírico da permeabilidade dos solos) igual à 0,0746. Enfatiza-se que os pontos de estudos apresentam algum tipo de intervenção no regime, como tal captação, regularização e lançamento de

efluentes. A seguir serão explicadas as aplicações dos modelos da literatura e logo após encontra-se uma tabela com todos os valores destes modelos para exemplo hipotético em estudo.

Cálculo do Modelo A

O modelo A é calculado segundo a equação 2.11 ($\frac{V_a}{V_e} = \frac{Q_a}{\sum Q_a}$) onde Q_a é a vazão de incremental de entrada e $\sum Q_a$ é dado como vazão total de entrada, como as vazões reais neste item serão dadas pelas vazões de parâmetros, logo as variáveis Q_a e $\sum Q_a$ são dadas respectivamente pelas variáveis \hat{Q}_{inc} e \hat{Q}_a . Dado que estas variáveis foram explicitadas no item anterior para o mês de abril nos pontos 1 e 2; serão mostrados a partir destas como se calcula o valor do Modelo A nestes pontos. A variável \hat{Q}_{inc} para o ponto 2 é igual à **2,365 m³/s** e como o ponto 2 não existe ponto a montante logo a vazão de parâmetro total de entrada \hat{Q}_a também é igual à **2,365 m³/s**, assim da divisão deste dois valores para o cálculo do modelo A, tem-se o valor unitário. No ponto 1, diferentemente do ponto 2, que possui pontos de estudos a montante, logo a vazão de parâmetro total de entrada difere da vazão de parâmetro incremental, assim os valores destas variáveis, que foram mostrados anteriormente como se encontra, são respectivamente **8,678 m³/s** e **4,494 m³/s**. Mais uma vez dividindo-se o valor da vazão de parâmetro incremental pela vazão de parâmetro total de entrada, tem-se o modelo A, que encontra-se o valor de **0,518**.

Cálculo do Modelo B

O modelo B é descrito pela seguinte equação 2.12 ($\frac{V_a}{V_e} = \frac{Q_a}{Q_e}$) onde Q_a é a vazão de incremental de entrada e Q_e é dado como vazão total de saída, como as vazões reais neste item serão dadas pelas vazões de parâmetros, logo as variáveis Q_a e Q_e são dadas respectivamente pelas variáveis \hat{Q}_{inc} e \hat{Q}_e . Da mesma forma do modelo A, será explicitado o cálculo do modelo B para os pontos 1 e 2 no mês de abril. A variável \hat{Q}_{inc} para o ponto 2 é igual à **2,365 m³/s** e a variável \hat{Q}_e , resultante da regularização de vazão e como pode ser visto na tabela 3.3, tem valor de **4,184 m³/s**. Assim o modelo B, neste ponto e neste mês, a partir da equação que rege este modelo, na qual se efetua uma divisão entre os valores citados (\hat{Q}_{inc} e \hat{Q}_e) encontra-se um valor

igual à **0,565**. Para o ponto 1 a \hat{Q}_{inc} é igual à **4,494 m³/s** e \hat{Q}_e igual à **zero**, logo o valor do modelo B para este ponto no mês de abril é infinito. Lógico que este valor não é coerente para a simulação de situações reais, mas se mostra eficaz por se tratar de exemplo hipotético e com o objetivo ilustrativo para a aplicação dos modelos indicados na revisão bibliográfica.

Cálculo do Modelo C

Este modelo admite que exista armazenamento no local estudado, sendo descrito da seguinte forma ($\frac{V_a}{V_s} = \frac{Q_a}{S}$), onde Q_a é a vazão de incremental de entrada e S é o armazenamento no local. Do exemplo hipotético em estudo, sabe-se que apenas o ponto 2 possui armazenamento, portanto este modelo será aplicado apenas à esse ponto. Assim, para compreensão deste modelo será descrita aplicação deste no mês de abril para o ponto 2. A vazão de parâmetro incremental de entrada \hat{Q}_{inc} para o ponto 2, conforme citado no modelo A e B, é igual à **2,365 m³/s** e o armazenamento neste mês, que pode ser visto tabela 3.3 e na figura 3.9, com o valor de **17,006 m³/s**. Assim, conforme a equação que rege a aplicação deste modelo dividindo-se o valor da vazão de parâmetro incremental de entrada pela valor do armazenamento, encontra-se o valor de **0,139** para o referido mês.

Os valores explicitados anteriormente estão sombreados na tabela 3.6, assim todos os valores dos modelos A, B e C; para todos os pontos de estudos.

3.2.2 Resultados e Discussões

Assim, aplicado os modelos propostos por Seyam et al, 2003 (A, B e C) e o modelo proposto neste trabalho; os resultados seguem de forma gráfica nas figuras de 3.10 a 3.13, com posterior análise.

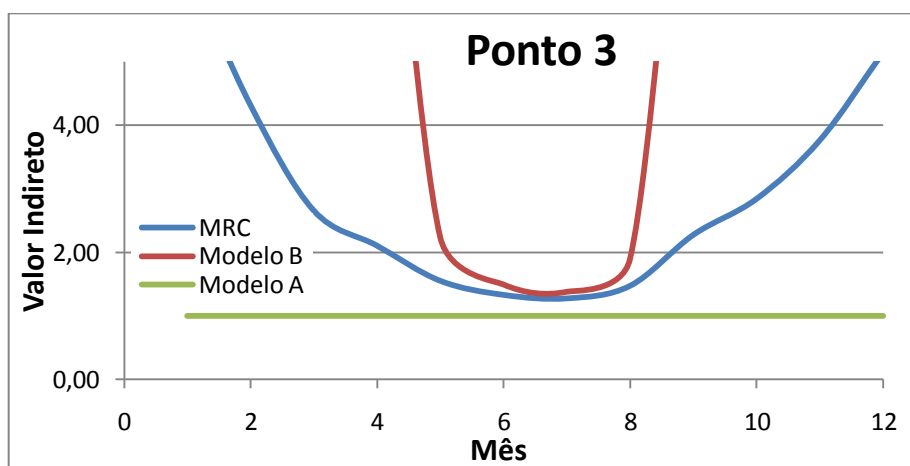


Figura 3.11 - Resultados dos modelos simulados para o ponto 3.

Tabela 3.7 – Modelos de Seyam *et al.*, 2003.

Meses		Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Pluviometria (mm)		600	350	130	90	60	40	30	50	100	150	300	500	600	350	130	90	60	40	
Exutório	Q_{sup} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,518	0,863	1,726	2,589	5,177	8,628	10,354	6,040	2,243	1,553	1,035	0,690	
	Q_{base} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,506	0,279	0,159	0,147	0,171	0,267	0,450	0,677	0,797	0,809	0,785	0,689	
	Q_a (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	1,024	1,142	1,885	2,736	5,348	8,895	10,804	6,717	3,040	2,362	1,820	1,380	
	ΣQ_a (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	6,890	7,201	9,166	2,736	5,348	9,839	16,197	6,717	3,040	2,362	8,995	7,830	
	D (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
	Q_e (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Área = 127,80 Km ²	Modelo A	-	-	-	-	-	-	0,149	0,159	0,206	1,000	1,000	0,904	0,667	1,000	1,000	1,000	0,202	0,176	
	Modelo B	-	-	-	-	-	-	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	
Ponto 1	Q_{sup} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,850	1,417	2,835	4,252	8,504	14,173	17,007	9,921	3,685	2,551	1,701	1,134	
	Q_{base} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,831	0,458	0,262	0,242	0,281	0,439	0,740	1,113	1,309	1,329	1,289	1,132	
	Q_a (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	1,682	1,875	3,096	4,494	8,785	14,611	17,747	11,034	4,994	3,880	2,990	2,266	
	ΣQ_a (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	5,866	6,060	7,281	8,678	14,678	22,944	27,392	18,668	9,299	8,064	7,174	6,450	
	D (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	22,000	0,000	0,000	
	Q_e (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	5,866	6,060	7,281	0,000	0,000	0,944	5,392	0,000	0,000	0,000	0,000	7,174	6,450
Área = 209,92 Km ²	Modelo A	-	-	-	-	-	-	0,287	0,310	0,425	0,518	0,599	0,637	0,648	0,591	0,537	0,481	0,417	0,351	
	Modelo B	-	-	-	-	-	-	0,287	0,310	0,425	∞	∞	15,483	3,291	∞	∞	∞	0,417	0,351	
Ponto 2	Q_{sup} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,448	0,746	1,492	2,238	4,475	7,458	8,950	5,221	1,939	1,343	0,895	0,597	
	Q_{base} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,437	0,241	0,138	0,127	0,148	0,231	0,389	0,586	0,689	0,699	0,679	0,596	
	Q_a (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,885	0,987	1,629	2,365	4,623	7,689	9,339	5,806	2,628	2,042	1,574	1,193	
	ΣQ_a (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,885	0,987	1,629	2,365	4,623	7,689	9,339	5,806	2,628	2,042	1,574	1,193	
	Q_{reg}^* (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	4,180	4,180	4,180	4,180	4,180	4,180	4,180	4,180	4,180	4,180	4,180	4,180	4,180
	Q_e (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	4,184	4,184	4,184	4,184	4,184	4,184	4,184	4,985	4,184	4,184	4,184	4,184	
	S (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	24,295	21,178	18,719	17,006	17,568	21,217	26,529	27,525	26,123	24,077	21,540	18,599	
	Modelo A	-	-	-	-	-	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
Área = 110,47 Km ²	Modelo B	-	-	-	-	-	-	0,211	0,236	0,389	0,565	1,105	1,838	2,232	1,165	0,628	0,488	0,376	0,285	
	Modelo C	-	-	-	-	-	-	0,036	0,047	0,087	0,139	0,263	0,362	0,352	0,211	0,101	0,085	0,073	0,064	
Ponto 3	Q_{sup} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,356	0,593	1,187	1,780	3,561	5,935	7,122	4,154	1,543	1,068	0,712	0,475	
	Q_{base} (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,348	0,192	0,110	0,101	0,118	0,184	0,310	0,466	0,548	0,556	0,540	0,474	
	Q_a (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,704	0,785	1,297	1,882	3,679	6,118	7,431	4,620	2,091	1,625	1,252	0,949	
	ΣQ_a (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,704	0,785	1,297	1,882	3,679	6,118	7,431	4,620	2,091	1,625	1,252	0,949	
	D (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	1,970	
	Q_e (m ³ /s)	-	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	1,709	4,148	5,461	2,650	0,121	0,000	0,000	0,000	
Área = 87,90 Km ²	Modelo A	-	-	-	-	-	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	
	Modelo B	-	-	-	-	-	-	∞	∞	∞	∞	2,153	1,475	1,361	1,743	17,264	∞	∞	∞	

* Vazão regularizada com 90% de garantia.

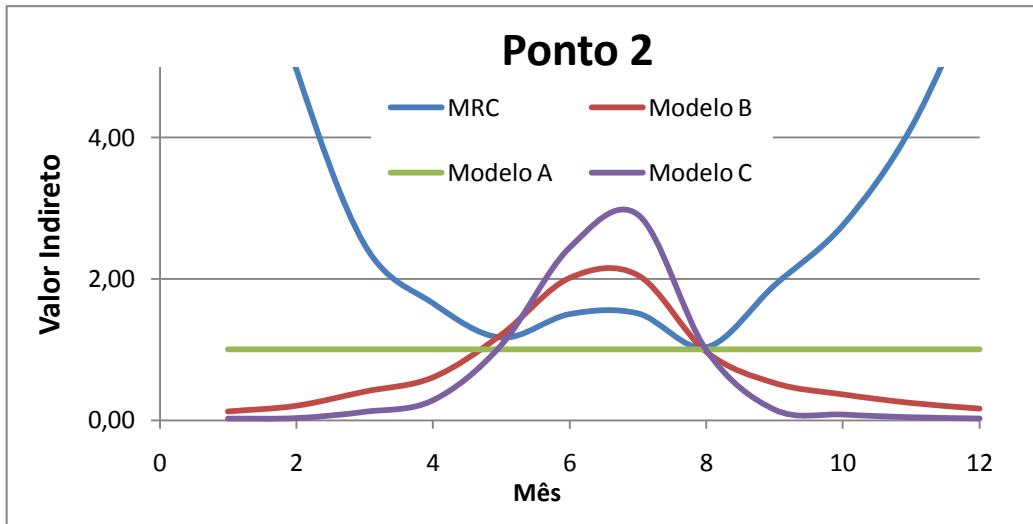


Figura 3.12 – Resultados dos modelos simulados para o ponto 2.

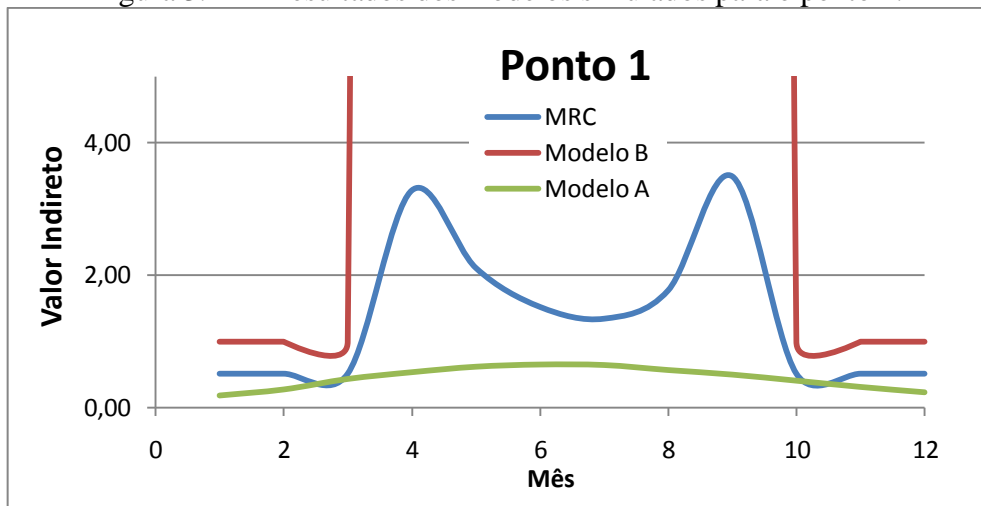


Figura 3.13 - Resultados dos modelos para o ponto 1

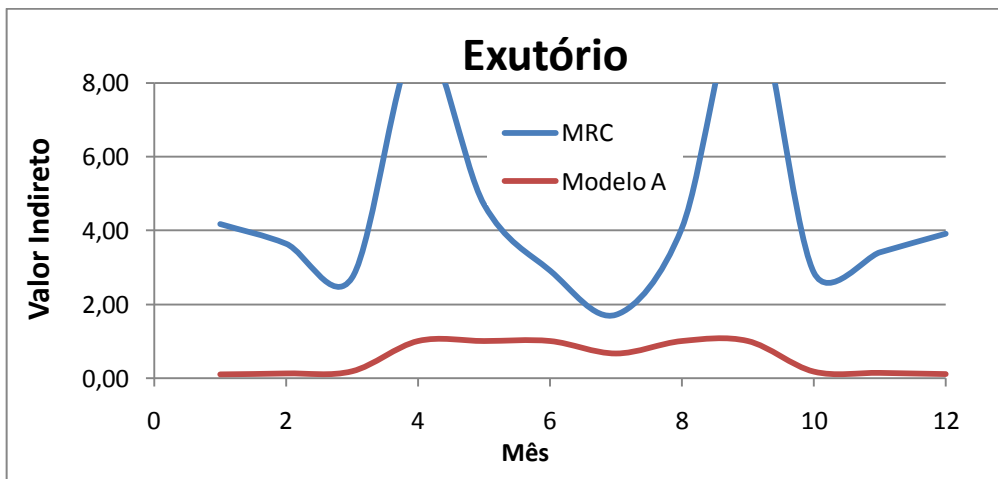


Figura 3.14 - Resultados dos modelos simulados para exutório.

Analisando apenas os modelos A e B, observa-se que geralmente o modelo B é mais taxativo. Este modelo considera além da temporalidade e sazonalidade (considerada no modelo A), a fração apropriada pelos usuários da disponibilidade, haja vista que seus valores aumentam

de acordo com esse fator, chegando a encontrar como infinito o valor indireto da água quando a demanda é maior ou igual à disponibilidade, como citado anteriormente. Em relação ao modelo C, ele é mais taxativo quando há a redução nas vazões, se invertendo quando as vazões são incrementadas; ou seja, este modelo penaliza mais quando a alteração no regime é de forma que reduzem as vazões.

Para o ponto 3 (figura 3.11) observa-se mais que para o modelo B é mais oneroso, pois possuem valores maiores que o modelo A e MRC. Para este ponto, nos meses entre 5 e 8 as demandas são atendidas por isso possuem valores menores, por outro lados nos outros meses a valor aumenta, no caso do modelo B chega ao valor de infinito, onde as demandas não foram atendidas totalmente. O modelo A encontra-se um valor constante igual a 1 em toda a simulação, isto deve-se ao fato que o ponto 3 é considerado um ponto de nascente e a sua vazão total é igual a vazão incremental ao ponto, e de acordo com a equação 2.12 este modelo é dado pela razão entre estes dois parâmetros, o mesmo se observa para o ponto 2. Para o ponto 2 foi aplicado além dos modelos A, B e MRC; o modelo C porque neste ponto possui uma estrutura de reservação. Neste ponto há de se considerar que nos meses 5, 6 e 7 os valores indireto da água para o modelo C é maior que e o Modelo B (modelo mais penalizador), devido ao decréscimo de vazão que existe neste ponto para estes meses ocasionado pela regularização de vazões (como pode ser visto na figura 3.10). O MRC tem uma tendência distinta em relação aos modelos analisados para os meses 1 a 4 e 9 a 12, isto porque o modelo proposto trata de forma indiferente se a modificação do hidrograma é uma redução ou acréscimo de vazões diferentemente dos modelos da literatura.

Para o ponto 1 (figura 3.13), os menores valores se encontram no meses de estiagens (1,2, 3, 10, 11 e 12). Este fato ocorre, pois os nos meses de estiagem não existem demanda, ou seja, mesmo havendo escassez de água nesses meses com a demanda nula os valores indiretos da água se mantêm baixos. Os maiores valores neste ponto são encontrados nos meses 4 e 9; meses que se iniciam a demanda para a irrigação e esta demanda compromete a disponibilidade hídrica neste período.

No exutório, não há atendimento integral das demandas, em todo o período, logo o valor indireto da água é infinito para o modelo B, portanto não é mostrado na figura 3.14. Apesar da demanda para manutenção dos ecossistemas aquáticos ser constate no tempo, os valores mais altos nos meses 4 e 9 ainda é reflexo do usuário localizado no ponto 1 que interfere mais claramente neste meses.

Mesmo se tratando de dados hipotéticos, das figuras anteriores (3.11 a 3.14), observa-se que o modelo das razões combinadas considera as parcelas do valor indireto da água

(sazonalidade e localização), este segue o padrão dos modelos sugeridos da literatura, ou seja, para meses com alta demanda e/ou com baixa disponibilidade hídrica ele sinaliza um valor indireto maior. Predominantemente, este modelo fornece resultados menores que os obtidos do modelo B, e maiores, na quase totalidade, para os outros modelos. A exceção fica a cargo do ponto 2 quando há incremento de vazão devido à regularização, pois o modelo proposto trata de forma indiferente se a modificação do hidrograma é uma redução ou acréscimo.

Quanto á localização, a análise deste modelo pode ser bem mais explorada a partir da figura 3.15.

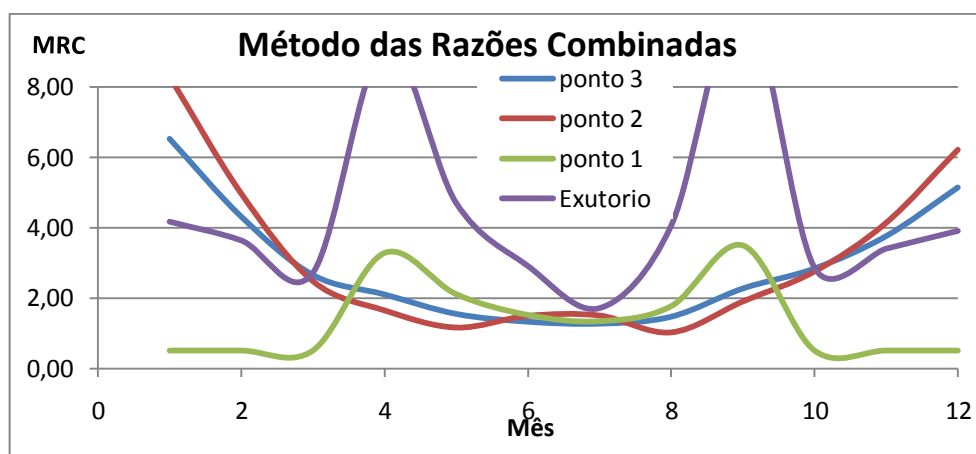


Figura 3.15 - Uso do modelo de razões combinadas (MRC) para os pontos de estudo.

Nota-se da figura 3.15 acima a tendência da localização, observando os pontos 2 e 3, percebe-se que suas curvas são praticamente semelhantes, pois se tratam de pontos na parte superiores da bacia, possuindo pouca variação a depender da modificação realizada em determinados meses. Em relação a estes dois pontos com o ponto 1, o valor indireto neste ponto deve ser menor, com exceção nos meses onde a demanda no ponto é significativa em relação à vazão disponível. A explicação para o valor indireto de o exutório ser sempre maior que seus pontos a jusante, deve-se ao fato que a demanda para manutenção do ecossistema neste ponto é sempre maior que a disponibilidade hídrica no local.

3.2.3 Aplicação do método das razões combinadas

Com intuito de analisar o impacto que um usuário ocasiona no outro usuário, dentro de uma bacia, foram realizadas as algumas simulações a partir do exemplo explicitado anteriormente. Inicialmente, para perceber a influência que um ou mais pontos tem a jusante com uma interferência a montante, foi realizada uma análise comparativa com os seguintes cenários: estuda-se o ponto 1 com demandas no ponto 2 e 3; sem essas demandas e sem uma delas separadamente. Os resultados podem ser visualizados na figura que segue.

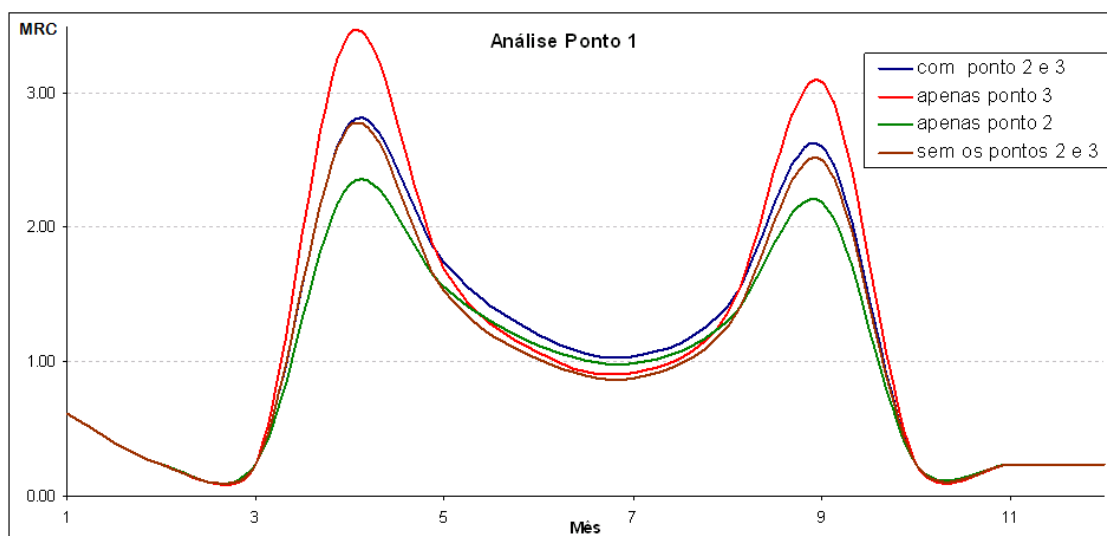


Figura 3.16 – Análise do ponto 1 para os cenários utilizados.

Observa-se da figura 3.16, também que o cenário mais crítico é quando se utiliza apenas o ponto 3 à montante do ponto estudado (ponto 1), precedido da configuração inicial do exemplo. Daí surge uma indagação, porque a cenário mais crítico não é o cenário que existe mais modificações na bacia hidrográfica (configuração inicial)? A justificativa é o seguinte: no ponto 2 existe uma barragem de regularização, e esta tem o objetivo de compensar a defasagem temporal das disponibilidade hídrica (vazões) com o intuito de atender as demandas e; a presente análise contempla apenas a modificação do regime de vazões, assim a instalação da barragem tem um caráter benéfico pois evita que as vazões sejam totalmente comprometidas nos períodos secos.

Com o objetivo de analisar o efeito das mudanças a montante da intervenção num ponto as jusantes, através do uso do modelo proposto, foram realizadas algumas simulações, seguindo os seguintes cenários: analisar o ponto 2 com e sem o ponto 1, da mesma forma analisar o ponto 3 com e sem o ponto 1, conforme as figuras que seguem (3.17 e 3.18).

As figuras 3.17 e 3.18 mostram que os cenários mais críticos, para ambos os pontos, é cenário inicial, nada mais justo, pois este é o cenário que há mais modificação na bacia. Nota-se que a intervenção à jusante do ponto estudado modifica apenas a parcela referente à localização (MRC_{local}), visto que nas duas simulações realizadas as diferenças entre os cenários inicial e o cenário sem o ponto 1 são constante no tempo.

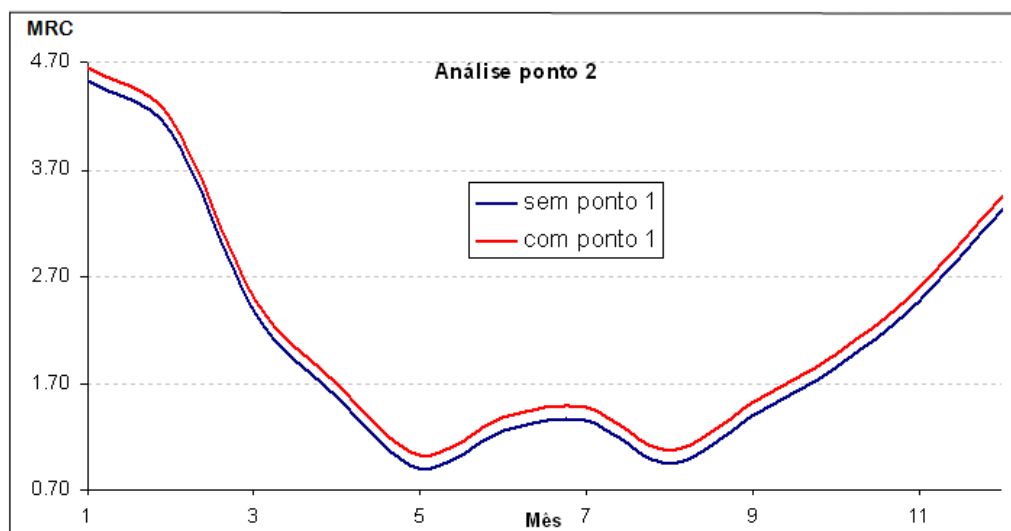


Figura 3.17 - Análise do ponto 2 para os cenários utilizados.

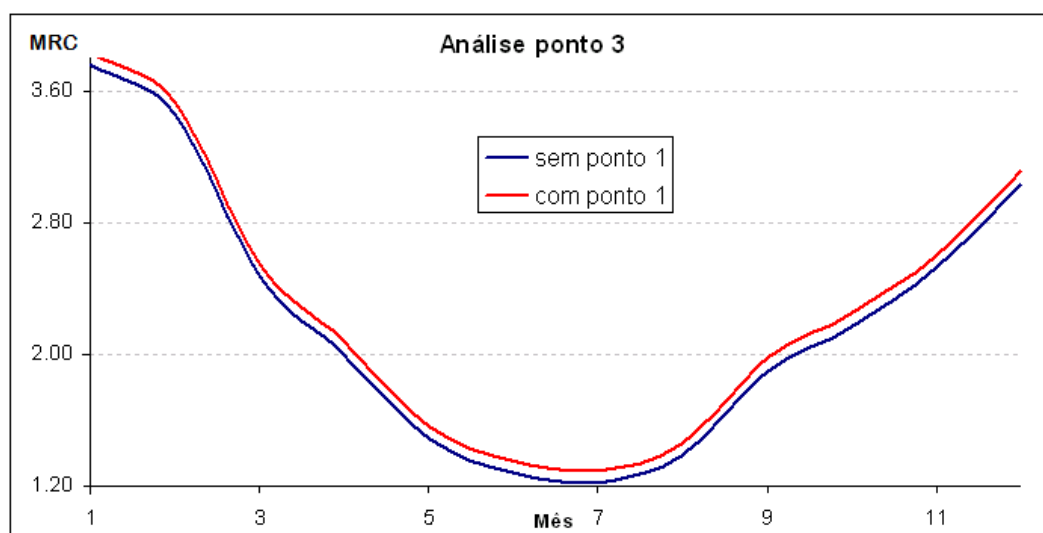


Figura 3.18 - Análise do ponto 3 para os cenários utilizados.

Esta aplicação mostra que o modelo proposto pode auxiliar na tomada de decisões em licenciamento ambiental, adotando-se um valor limite do MRC para determinado local (ponto de estudo), verificando-se se este valor (do MRC) foi excedido com a implantação de um novo usuário (empreendimento), subsidiando assim os órgãos ambientais na liberação deste novo empreendimento, como também nas medidas compensatória-mitigadora, como mudança na rotina de funcionamento, para o valor limite não ser excedido. Assim, aproximam-se também as esferas administrativas em recursos hídricos e meio ambiente, logo que o ponderador (MRC) pode ser utilizado também em outorga de direito da água⁵.

⁵ A aplicação em outorga de direitos de uso da água foi realizada no capítulo que segue, item 4.3.2.

4 CASO DE ESTUDO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CORURIBE – AL

A justificativa da Bacia do rio Coruripe ser utilizado neste trabalho deve-se a severas restrições, quer seja quantitativa ou qualitativa, de atendimento das demandas ao longo da bacia. Na parte superior da bacia, o rio Coruripe possui caráter intermitente, apresentando vazões nulas durante vários meses do ano (Novembro, Dezembro e Janeiro). Nos trechos médio e baixo, onde as vazões se apresentam disponíveis durante todo o ano, a degradação da qualidade das águas é provocada pelos lançamentos de efluentes de esgotos urbanos, efluentes das Usinas de açúcar e álcool, e pelas águas de drenagem das áreas de irrigação da cana de açúcar. Também na parte baixa da bacia, sob influência da zona marítima, além dos descartes de efluentes das usinas e de esgotos urbanos, as águas apresentam alto teor de salinidade, devido à intrusão das marés. Este breve diagnóstico mostra a necessidade de estudos que tragam alternativas para uso racional da água e visem à implantação de programas de recuperação da região em estudo.

4.1 Caracterização da Bacia

As informações para descrição da região em estudo foram obtidas a partir do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Coruripe. Contudo, foram utilizados, de forma complementar, trabalhos elaborados sobre esta região tanto no âmbito acadêmico ou profissional, que serão referenciados ao longo do texto.

4.1.1 Características Gerais

A bacia do rio Coruripe possui uma área de drenagem de 1.562 km², abrange treze municípios alagoanos: Arapiraca, Belém, Campo Alegre, Coité do Nóia, Coruripe, Igaci, Junqueiro, Limoeiro de Anadia, Mar Vermelho, Palmeira dos Índios, Tanque d'Arca, Taquarana e Teotônio Vilela, perfazendo cerca de 200.000 mil habitantes.

A bacia hidrográfica está localizada na parte central do Estado, conforme Figura 4.1, limita-se ao norte com a bacia do rio Paraíba; a oeste com as bacias dos rios Traipu e Piauí; e a leste com as bacias dos rios São Miguel, Jequiá, e Poxim. Na foz, faz limites com as drenagens dos riachos Lagoa do Pau, ao norte, e Feliz Deserto, ao sul.

O rio Coruripe é um dos mais importantes sistemas hídricos componentes da complexa rede hidrográfica alagoana. Trata-se de um rio de domínio estadual, em virtude de ter todo o seu percurso inserido no território do Estado de Alagoas. Além disso, a bacia apresenta uma base econômica bastante diversificada, compreendendo cultivos em larga escala de cana de açúcar, milho, feijão, fumo e coco, usinas de açúcar e álcool como a Coruripe, Guaxuma e a Seresta;

fazendo com que o planejamento do uso dos recursos hídricos seja um importante fator no desenvolvimento da bacia e conseqüentemente do Estado de Alagoas (Carvalho, 2006). Destaca-se ainda a utilização da água para fins de recreação na parte da baixa bacia quando o Rio Coruripe deságua no Oceano Atlântico.

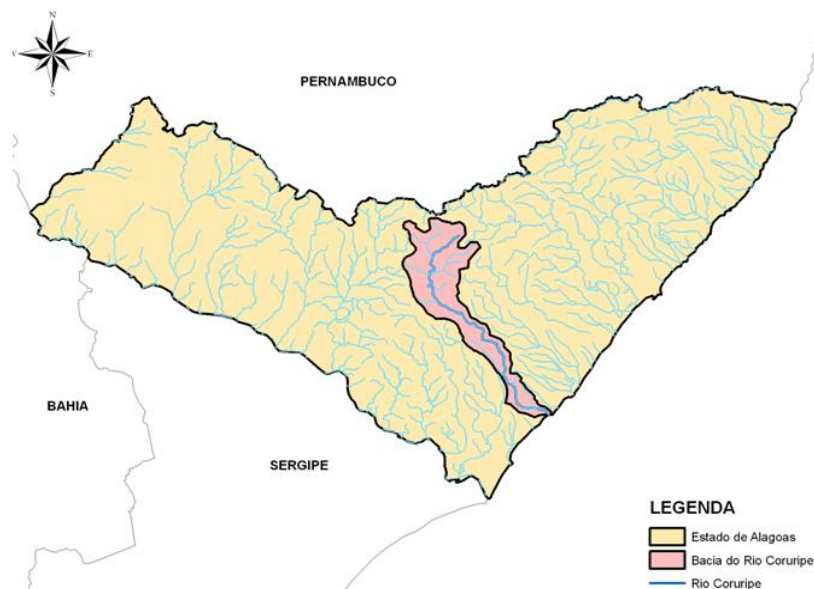


Figura 4.1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Coruripe.

4.1.2 Características Físicas

Essa bacia se caracteriza por sua forma alongada, com extensão de cerca de 140 km, e largura variando entre o mínimo de 6 km na sua parte central, até um máximo de 30 km na parte superior. A bacia hidrográfica do Rio Coruripe tem uma forma muito particular já que, no centro dela, nas proximidades da cidade de Limoeiro de Anadia, a bacia sofre um pronunciado estreitamento, sendo o leito bastante encravado nesta região. Neste trecho, a bacia funciona praticamente como um canal condutor das precipitações ocorridas em suas cabeceiras.

O rio Coruripe, nasce nas proximidades do município de Palmeira dos Índios, a uma altitude de aproximadamente 550 m. Nos seus 28 km de extensão iniciais, o rio tem o seu curso orientado no sentido geral N – S, infletindo, após esse trecho, para o sentido sudeste até sua confluência com o Oceano Atlântico. As declividades mais acentuadas ocorrem no trecho inicial, onde apresenta um desnível de 160 m em um trecho de 25 km de extensão. Para melhor compreensão dos aspectos físicos da bacia, foi reformulado por Carvalho (2006) o Modelo Numérico do Terreno que pode ser útil neste trabalho.

Em relação ao tipo de solos, devido à diversidade de condições geológicas e geomorfológicas, a bacia do Coruripe apresenta uma grande variedade de tipos de solos, encontrando 20 diferentes tipos (PDRH - Coruripe, 2002).

A respeito da cobertura vegetal, a bacia do rio Coruripe apresenta três formações principais:

Floresta Estacional Semidecidual, dominante nas áreas de relevo mais movimentado a norte e a nordeste de Palmeiras dos Índios;

Caatinga, que predomina em toda a parte semi-árida da bacia e;

Floresta Ombrófila Densa, característica das partes média e baixa da bacia, sob domínio de clima semi-úmido, tendo sido substituída de forma quase total pelos canaviais.

De um modo geral, a bacia se caracteriza pela intensa ocupação antrópica, onde aparecem pouquíssimos remanescentes da vegetação original, com áreas contínuas pequenas e de forma fragmentada. A figura 4.2 apresenta o uso do solo na bacia e a sua classificação.

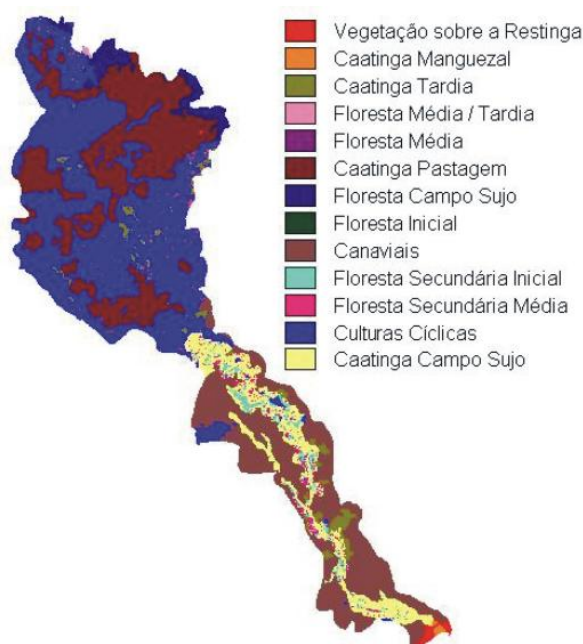


Figura 4.2 Uso do Solo na Bacia do Coruripe no ano 2000 (Carvalho, 2006).

4.1.3 Características Climatológicas

A bacia possui um clima de temperaturas elevadas, com amplitude térmica pouco superior a 5°C e temperaturas médias anuais sempre superiores a 18°C. As menores temperaturas são observadas no segundo semestre do ano, principalmente nos meses de setembro a novembro, na porção norte da área e entre junho e agosto na sua porção sul, próximo à cidade de Coruripe. As temperaturas mais elevadas, por sua vez, acontecem no início do ano, entre fevereiro e abril. Observa-se que as maiores médias anuais ocorrem no extremo sul da bacia, onde se aproximam de 27,2°C.

O regime pluviométrico da bacia se caracteriza por uma precipitação média anual da ordem de 1.100 mm, porém com grande variação espacial, oscilando entre um mínimo de 650

mm/ano na região de Arapiraca, na parte alta da bacia, e um máximo de até 1.500 mm/ano na região de Pindorama, na faixa litorânea. O trimestre mais chuvoso ocorre entre maio e julho, em praticamente toda a bacia, enquanto os meses menos chuvosos se concentram no período de verão, entre os meses de outubro a dezembro. A figura 4.3 apresenta o regime pluviométrico médio mensal da bacia.

A evaporação anual média, na área em estudo, representada pelos dados da estação de Palmeira dos Índios foi de 1.673 mm/ano. Quanto à variação sazonal, essa estação apresenta níveis de evaporação mais elevados nos meses de verão, quando chegam a atingir valores médios da ordem de 232 mm por mês.

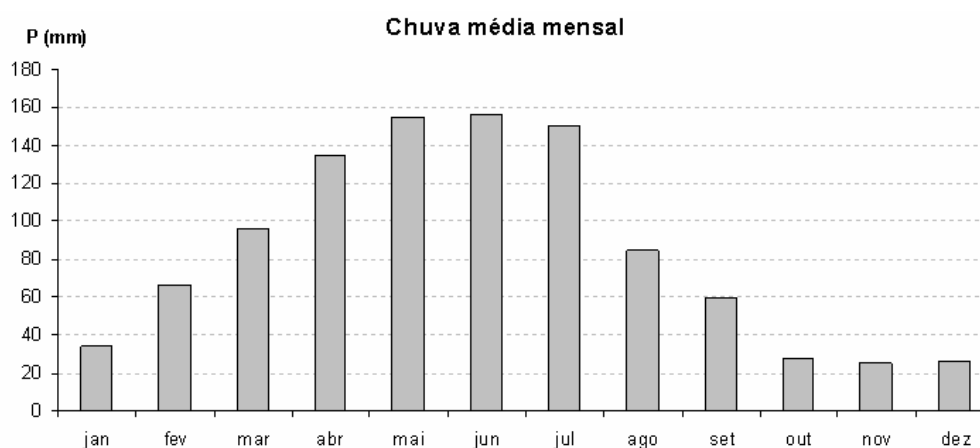


Figura 4.3 – Regime médio pluviométrico da Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe.

4.1.4 Rede Hidrométrica

Na bacia do rio Coruripe e na região em seu entorno Carvalho (2006) identificou 12 estações pluviométricas, operadas por diversos órgãos cujas medições já superavam os 20 anos. As localizações, períodos de observação das estações pluviométricas são apresentadas na Tabela 4.1 e Figura 4.4. Há somente uma estação pluviométrica na Bacia, dispondo de informações de cotas médias diárias, descargas médias diárias, equações das curvas-chaves e resumos de medição de descarga líquida para o período disponível, qual seja, de 1978 a 1998. Os dados desta estação pluviométrica é apresentado na tabela 4.2 e na Figura 4.4.

Tabela 4.1– Postos pluviométricos na região (Carvalho, 2006).

Postos	Município	Coordenadas		Período
Anadia	Anadia	36°20'	9°38'	1913-1997
Arapiraca	Arapiraca	36°39'	9°45'	1963-1991
Coruripe	Coruripe	36°10'	10°07'	1936-1985
Igaci	Igaci	36°38'	9°33'	1963-1999
Junqueiro	Junqueiro	36°29'	9°56'	1913-1987
Lagoa da Canoa	Lagoa da Canoa	36°44'	9°50'	1920-1999
Limoeiro de Anadia	Limoeiro de Anadia	36°30'	9°45'	1912-1999
Mar Vermelho	Mar Vermelho	36°23'	9°27'	1963-199
Minador do Negrão	Palmeira dos Índios	36°52'	9°19'	1963-1991
Palmeira dos Índios	Palmeira dos Índios	36°39'	9°24'	1913-1985
Colônia Pindorama	Coruripe	36°24'	10°07'	1963-1995
Quebrangulo	Quebrangulo	36°29'	9°20'	1912-1994
Tanque D'Arca	Tanque D'Arca	36°26'	9°32'	1993-
Usina Coruripe	Coruripe	10°05'	36°17'	1963-1991

Tabela 4.2- Inventário das Estações Fluviométricas

Código	Nome da Estação	Curso d'água	Área de drenagem (Km ²)	Latitude	Longitude
39980000	Camaçari	Rio Coruripe	1.383	10° 01' 52"	36° 18' 18"

Na Figura 4.4 são representadas as localizações dos postos pluviométricos e estação fluviométrica citada.

4.1.5 Usuários e Demandas Hídricas

Carvalho (2006) identificou os usuários da bacia, seus Pontos de Captação, e o classificou conforme a característica da demanda. As localizações geográficas dos usuários na bacia estão apresentadas na figura 4.5, como também as demanda mensais são apresentada quanto ao seu tipo tabela 4.3.



Figura 4.4 - Localização dos postos pluviométricos e fluviométricos.

Tabela 4.3 - Pontos de Captação (PC).

PC	Nome do Ponto de Captação	Vazão	PC	Nome do Ponto de Captação	Vazão
		(m ³ /s)			(m ³ /s)
Demanda Humana			Demanda para a Irrigação		
H1	Coruripe	0,0632	IR1	Junqueiro – 01	0,021
H2	Teotônio Vilela	0,0583	IR2	Junqueiro – 02	0,035
H3	Limoeiro de Anadia	0,0234	IR3	Junqueiro – 03	0,04
Demanda para Dessend. Animal			IR4	Junqueiro – 04	0,032
A1	Limoeiro de	0,0014	IR5	Junqueiro – 05	0,083
A2	Limoeiro de	0,0011	IR6	Junqueiro – 06	0,083
A3	Junqueiro	0,0021	IR7	Teotônio Vilela–01	0,0830
A4	Teotônio Vilela	0,0012	IR8	Teotônio Vilela-02	0,136
A5	Coruripe_01	0,0000	IR9	Coruripe – 01	0,51
A6	Coruripe_02	0,0002	IR10	Coruripe – 02	0,089
A7	Coruripe_03	0,0009	IR11	Teotônio Vilela–03	0,83
Demanda para a indústria			IR12	Teotônio Vilela–04	0,139
I1	Reunidas Seresta S/A	0,1735	IR13	Junqueiro – 07	0,0612
I2	Usina Coruripe 01	0,202	IR14	Campo Alegre–01	0,0992
I3	Usina Coruripe 02	0,42	IR15	Campo Alegre–02	0,0314
I4	Usina Coruripe 03	0,196	IR16	Campo Alegre–03	0,1983

Os pontos I2, I3, I4 e IR9 serão analisados neste estudo como um único ponto (BAR), localizado no local de instalação da Barragem Coruripe I, pois admite-se que estes pontos são abastecidos (I2, I3, I4 e IR9) por este barramento.

Segundo o Plano diretor de recursos hídricos da região (2002) o atendimento das disponibilidades hídricas da bacia está condicionado à implantação de barragens de regularização, com o objetivo de compensar a defasagem temporal entre as demandas e as disponibilidades. Neste sentido, foram desenvolvidos estudos hidrológicos e de reconhecimento, que indicaram a viabilidade preliminar da implantação de dois barramentos: o primeiro identificado como Barragem Coruripe I, situado em sítio já estudado, localizado no rio Coruripe, com volume de acumulação estimado em 50,00 hm³; a outra barragem, identificada como Coruripe II, seria implantada também no rio Coruripe, com um volume de acumulação da ordem de 30,00 hm³. A Barragem Coruripe I foi concluída e, portanto servirá de base para a realização deste trabalho. A Barragem Coruripe I poderá atender às necessidades de irrigação da Usina Coruripe e dos fornecedores de cana dessa região, além do abastecimento industrial da própria Usina Coruripe, podendo também atender ao abastecimento da cidade de Coruripe e dos demais núcleos urbanos do seu entorno (Carvalho, 2006).

4.2 Simulação na Bacia

Antes de realizar a simulação do modelo proposto para avaliar o valor indireto da água, serão adotadas algumas simplificações, para possibilitar a aplicação do modelo, devido à insuficiência de dados cadastrais e estudos. Entre as simplificações adotadas deve-se destacar:

- As características de permeabilidade, ou seja, contribuição para formação da vazão de base são constantes em toda bacia, e calculado, arbitrariamente, a partir da chuva média dos seis meses antecedentes ao mês estudado, isto porque a vazão de base é mais lenta;
- Nas simulações não serão considerados os efeitos da intrusão salina no escoamento, sobretudo na parte inferior da bacia;
- O tipo de uso da água considerado nesta simulação será apenas a captação e reservação.
- Considera-se que não existe sazonalidade da demanda, logo a simulação será realizada admitindo-se que as demanda coletadas na tabela 4.3 são constantes no tempo, seja período seco ou úmido.

4.2.1 Coleta de dados

As demandas hídricas utilizadas nesta simulação serão as demandas contidas na tabela 4.3 e mostrada na figura 4.5, estas são constante no tempo, obtida de Carvalho (2006), lembrando que os pontos I2, I3, I4 e IR9 serão estudados em único ponto (BAR), pois estes são abastecidos por uma Barragem (Coruripe I). As vazões de parâmetro foram calculadas segundo as equações 3.5 a 3.9, lembrando mais uma vez que esta não se refere à disponibilidade hídrica no local, mas serve como um ponderador para auxiliar na procura de uma metodologia que represente o conceito do valor indireto da água.

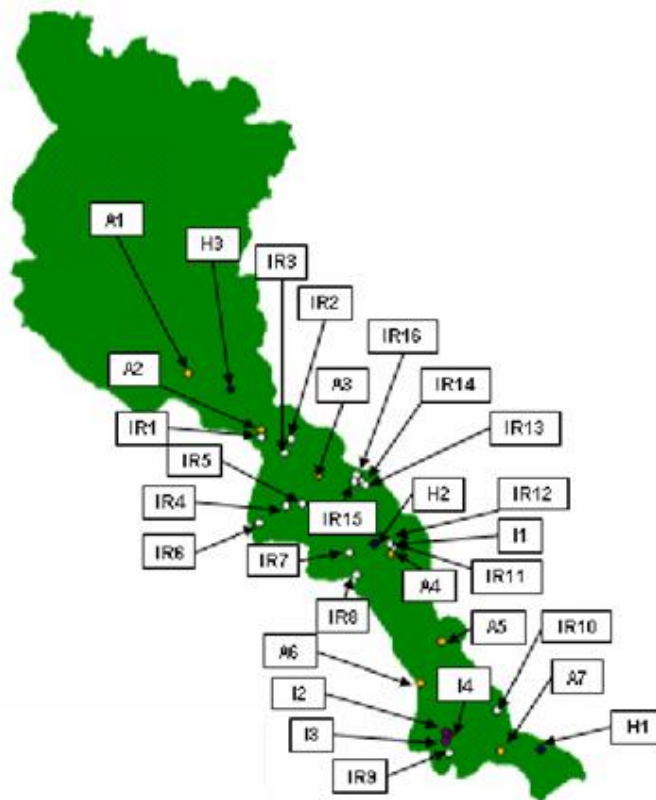


Figura 4.5 - Esquema dos Pontos de Captação/Estudo.

Para aquisição dos dados pluviométricos, foi realizado um levantamento a partir de uma consulta ao banco de dados do Sistema de Informações Hidrológicas HydroWeb (ANA, 2007), através do portal: <http://hidroweb.ana.gov>. Foram necessárias as análises das estações pluviométricas, sendo realizados os preenchimentos de falhas e a análise de consistência dos dados. Depois das análises, utilizou-se apenas as seguintes estações: 936041, 936031, 936052, 936056, 1036011 e 936026 e 936022; no período de 1978 à 1991. Foi utilizado o método de Thiessen para calcular a chuva média na bacia. A disposição espacial dos postos selecionados e polígono de Thiessen pode ser visto pela figura 4.6.



Figura 4.6 - Postos pluviométricos e polígono de Thiessen.

Para a coleta das características geofísicas da bacia, fez uso do modelo numérico do terreno (MNT) da bacia obtido de Carvalho, 2006, vide figura 4.7. O MNT, uma vez que reproduz matematicamente a distribuição espacial das características vinculada à superfície real, serviu para encontrar os dados geométricos da bacia (áreas de drenagem, áreas de influência, área à jusante e etc.) com uso de técnicas de geoprocessamento.

Em relação às características dos solos, Carvalho (2006) desenvolveu uma classificação utilizando o uso do solo e seu tipo (item 6.1.2), obtendo uma categorização quanto à drenagem do solo e sua infiltração. A classificação foi feita em quatro diferentes características entre solo com infiltrações baixas, moderadas, altas e muito altas e pode ser observada na figura 4.8. O coeficiente de escoamento de cada ponto estudado é encontrado através da ponderação de área e fazendo uso da tabela 4.4, a partir desta classificação. Os valores desta tabela foram arbitrados baseado em valores da literatura quanto ao uso do solo e o tipo de vegetação.

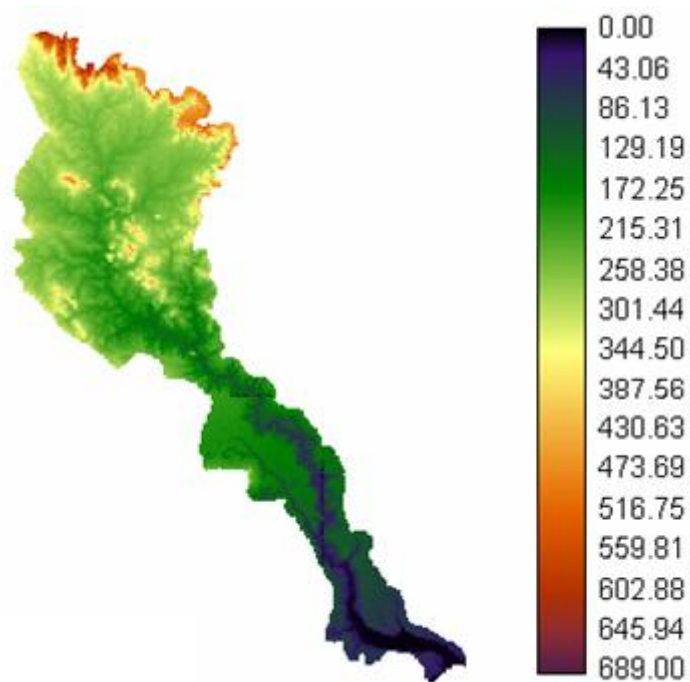


Figura 4.7 - MNT da Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe.

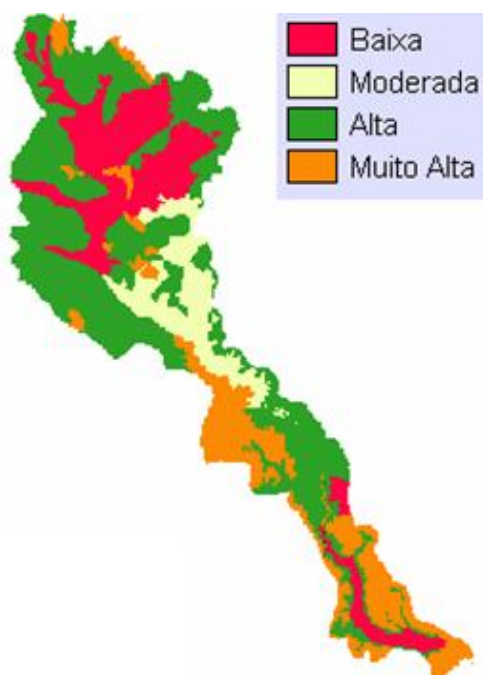


Figura 4.8 – Classificação quanto à infiltração no solo da Bacia do Coruripe. (Adaptado de Carvalho, 2006).

Tabela 4.4 – Atribuições do coeficiente de escoamento.

Tipo	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
C	0,35	0,30	0,20	0,15

Quanto à permeabilidade das camadas mais superficiais do solo e à facilidade que tem de contribuir para a formação de escoamento devido à percolação, foi coletado de Pereira (2007), um valor de ϕ igual a 0,0746. Sobre a Barragem Coruripe I, os detalhes deste empreendimento podem ser verificados na tabela abaixo, coletados no seu estudo de impacto ambiental, neste documento foram coletados também dados para construir a curva volume armazenado x área (Figura 4.9). A evaporação da região do reservatório foi obtida de Pereira (2007), e é mostrado na tabela 4.6.

Tabela 4.5 – Característica da Barragem Coruripe I.

Objetivo	Irrigação
Altura máxima	16 m
Volume de Acumulação (Cota 27)	50 hm ³
Volume Morto (Cota 15)	3,080 hm ³
Área de inundação (Cota 27)	670 ha.
Área não Edificandi (Cota 31)	804 ha.
Nível de água Mínimo	15 m
Nível de água Máximo Normal	27 m
Nível de água Máximo Maximorum	30 m
Nível de água Máximo Operacional	17 m
Vazão regularizada com garantia de 90%	4,43 m ³ /s
Vazão mínima de descarga de jusante	0,27 m ³ /s
Localização	795302 E 8.889.974 N (UTM)

Fonte: EIA – Barragem Coruripe I (2005).

Tabela 4.6 - Evaporação na Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe (Pereira, 2007).

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Evaporação	139	125	135	128	115	124	87	88	93	121	125	141

Com os dados coletados na região de estudo e utilizando a metodologia proposta por Loucks (1981), explicitada no capítulo anterior, foi realizada a regularização através de técnicas de otimização contemplada na revisão bibliográfica deste trabalho. De modo análogo ao exemplo hipotético citado no desenvolvimento da metodologia, foi realizada a otimização na barragem Coruripe I, onde se procura maximizar as vazões efluentes do reservatório dado às restrições de ordem física (capacidade máxima de armazenamento no reservatório) e de

natureza hidrológica (balanço hídrico no reservatório), montando-se uma tabela semelhante a da figura 3.9. Os resultados desta otimização pode ser visto de forma gráfica na figura 4.10.

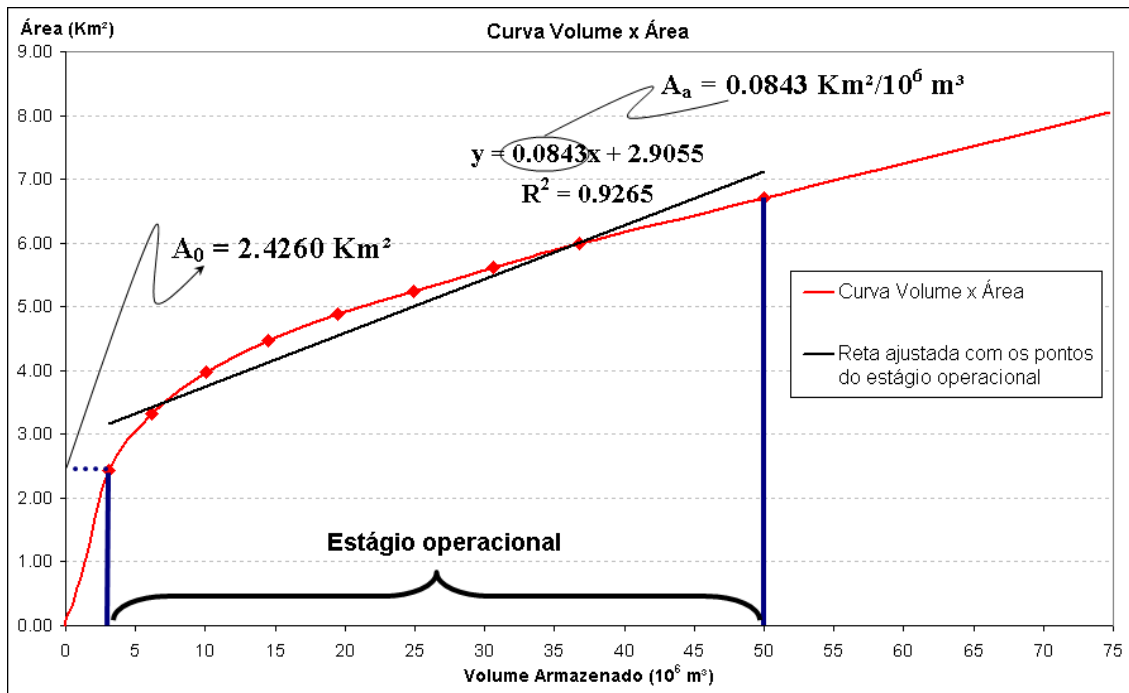


Figura 4.9 - Curva volume x área da barragem Coruripe I.

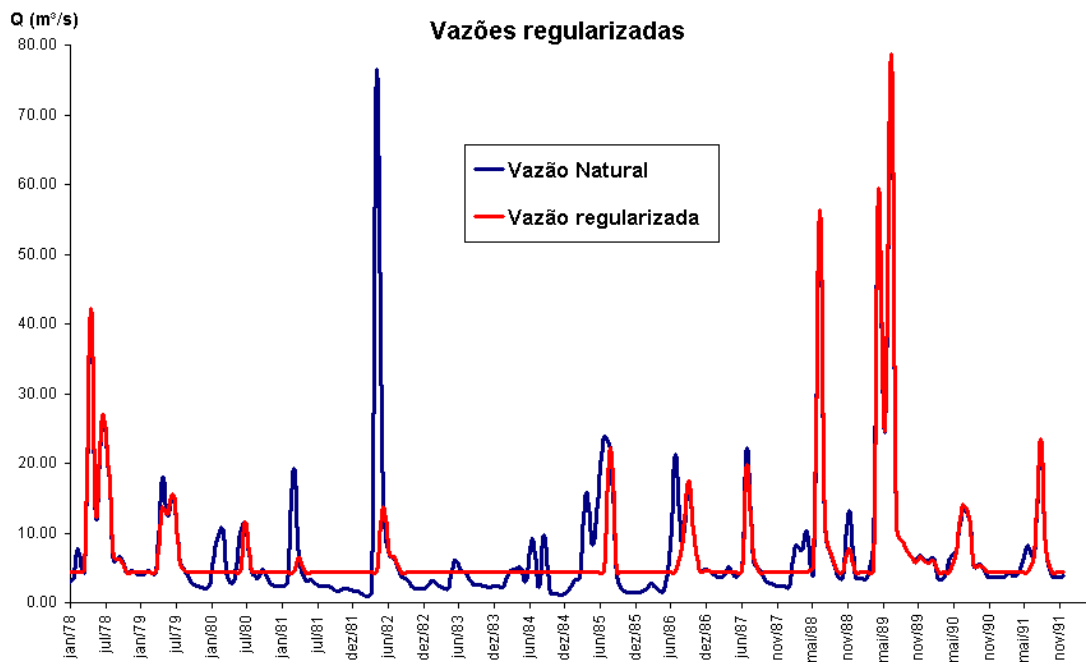


Figura 4.10 – Vazões naturais e regularizadas na Barragem Coruripe I.

As vazões mínimas regularizadas na Barragem Coruripe I encontrada na simulação realizada é da ordem de 4,43 m³/s, que está em consonância com as informações coletadas do Estudo de Impacto Ambiental deste empreendimento. O maior valor encontrado das vazões

regularizadas é de 78,69 m³/s exatamente igual á vazão afluyente do reservatório, isto porque no período de ocorrência desta vazão tratava-se de um período úmido que a capacidade do reservatório é menor que o volume de descarga (neste período as vazões mínimas naturais são maiores que a vazão mínima de regularização). Enfim, nota-se da figura 4.10 o objetivo principal da regularização das vazões, ou seja, eliminar a defasagem temporal das vazões naturais; haja vista que esta barragem consegue manter vazões maiores ou iguais a 4,43 m³/s; vazão significativamente alta para o período de estiagem do rio Coruripe.

4.2.2 Resultados e discussões

Coletados todos os dados necessários à aplicação do modelo proposto (pluviometria, característica do solo, dados geométricos e demandas hídricas), foi possível realizar as simulações do método de razões combinadas nos 27 pontos de estudo (demanda) da tabela 4.3 e fazendo uso da equação 3.1. Para melhor compreensão dos resultados a Bacia Hidrográfica em tela foi dividida em seis regiões da seguinte maneira e com a ajuda da figura 4.11:

- A região do rio principal (Coruripe) foi subdivida em três: rio Coruripe trecho alto, médio e baixo. O trecho alto engloba os pontos A1, A2, A3, H2, H3, IR2 e IR12; o médio A4, I1, IR11 e BAR e o baixo com A7 e H1;
- Os pontos próximos as nascentes formaram duas regiões: nascentes do baixo e do Alto Coruripe. Na região das nascentes do baixo Coruripe temos os pontos A5, A6, IR5, IR7 e IR10 e do alto IR1, IR3, IR14, IR15 e IR16 e;
- Os pontos não contemplados nas regiões citadas anteriormente (IR4, IR6, IR8 e IR13) estão agrupados na região denominada Afluentes do rio Coruripe.

Destaca-se que pontos de estudos que inicia-se com: “A” indica demanda para abastecimento animal; “H” indica abastecimento humano; I abastecimento industrial e IR demanda de água para irrigação.

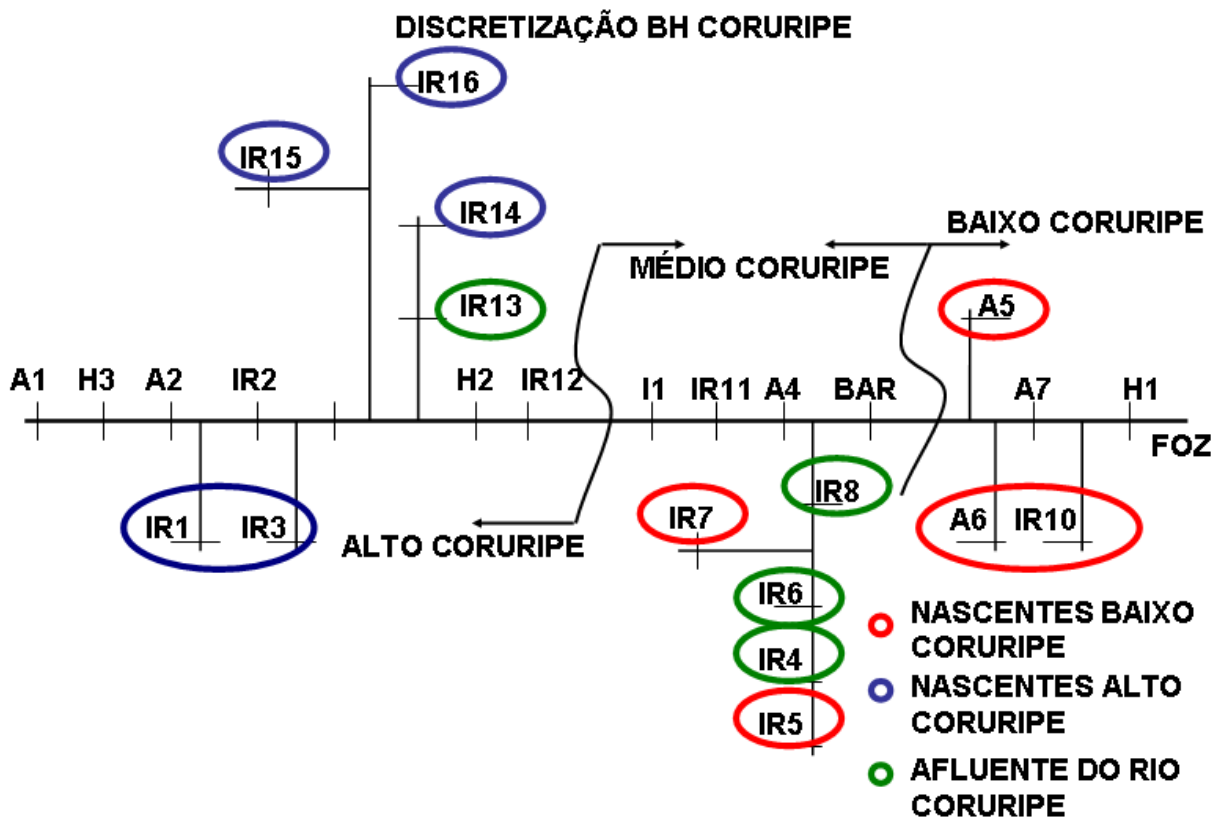


Figura 4.11 – Discretização da Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe e suas regiões.

As figuras 4.12 a 4.14 que seguem mostram a simulação do método proposto (MRC) para as seis subdivisões da bacia.

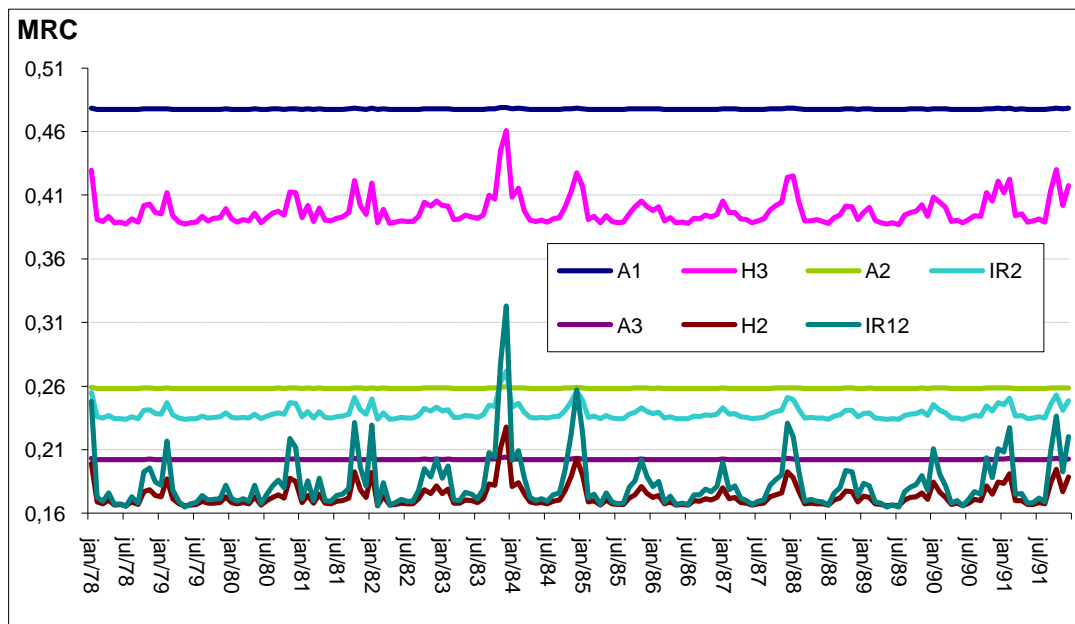


Figura 4.12 – Simulação no rio Coruripe trecho alto.

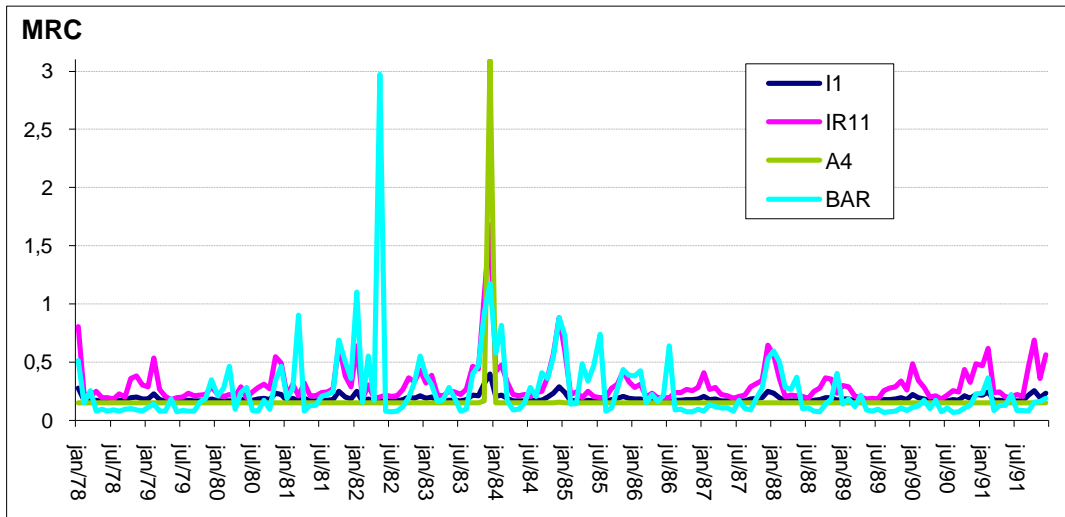


Figura 4.13 - Simulação no rio Coruripe trecho médio.

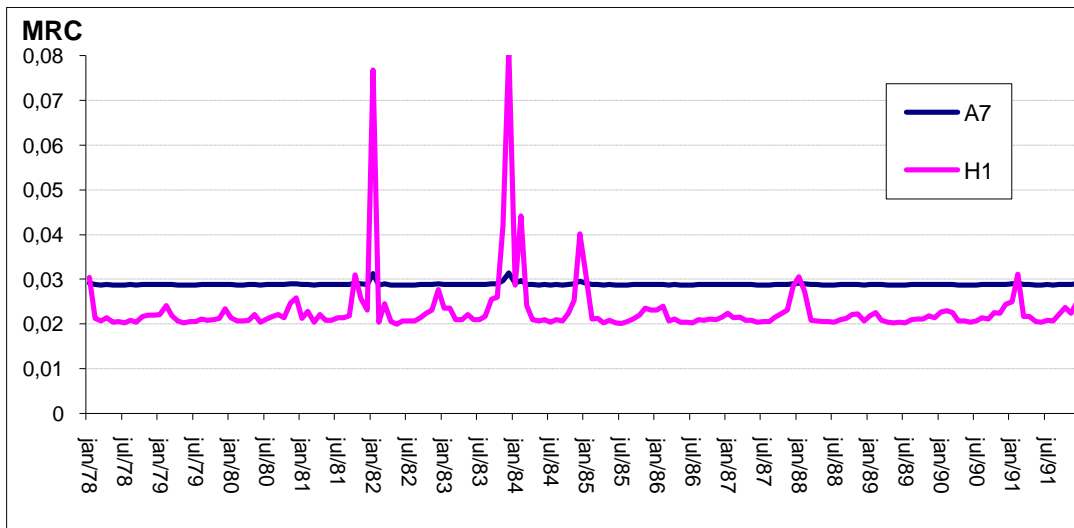


Figura 4.14 – Simulação no rio Coruripe trecho baixo

No trecho alto do Rio Coruripe encontra-se valores de MRC compreendido em 0,16 a 0,50; seguindo a temática que o valor indireto da água é oposto ao fluxo da mesma, isto pode ser comprovado se analisar a figura 4.12 e a 4.11. Na ordem de montante para jusante temos A1, H3, A2, IR, A3, H2 e IR12 praticamente igual a ordem crescente dos valores de MRC na figura 4.11. Existem algumas exceções, que são os casos de H2 e IR12, que em alguns meses de estiagens seus valores de MRC ultrapassam os valores para os pontos à montante. Isto acontece porque as demandas nestes pontos são suficientemente grandes para elevar o valor de MRC. Os valores dos pontos A3, A2 e A1 são predominantemente constante, dado que os valores de demanda para este tipo de usuário (abastecimento animal) são baixos em relação aos outro tipo de usuários e pouco influencia na parcela temporal do MRC, sobressaindo-se assim a parcela locacional. No caso do trecho médio os valores de MRC são praticamente iguais,

motivado pela localização destes que são muito próximas, que conseqüentemente possuem área de drenagem de mesma ordem de grandeza.

No baixo Coruripe analisa-se apenas dois pontos (A7 e H1), o que facilita esta análise. Demonstra-se que o ponto situado mais próximo da foz possuem valores menores, porém nos períodos de estiagens o estes valores excedem o valores do ponto a montante, mais uma vez devido a demanda ser significativa em relação a disponibilidade neste período.

Sobre os pontos que têm um comportamento quase que constante em todo o período, isto porque a variação da razão da esquerda (de temporalidade) é pequena e relação ao valor da razão da direita (de localização), em razão da demanda ser irrisória em relação à disponibilidade local. Diante de tal fato, demonstra-se que o valor do modelo proposto não reflete apenas a modificação realizada no local de captação, como também todo a sua área de influência⁶.

A seguir os resultados da simulação para as nascentes do alto e baixo Coruripe e para a região dos afluentes.

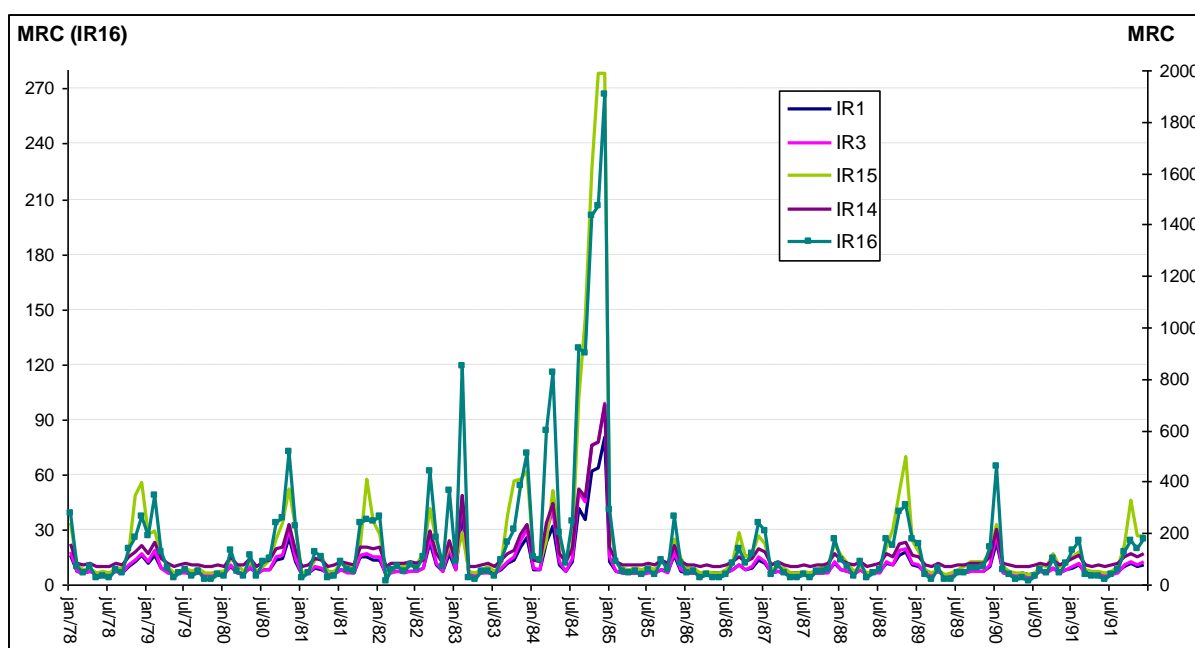


Figura 4.15 - Simulação nas nascentes do alto Coruripe.

⁶ A definição de área de influência é dada no capítulo 3 deste trabalho.

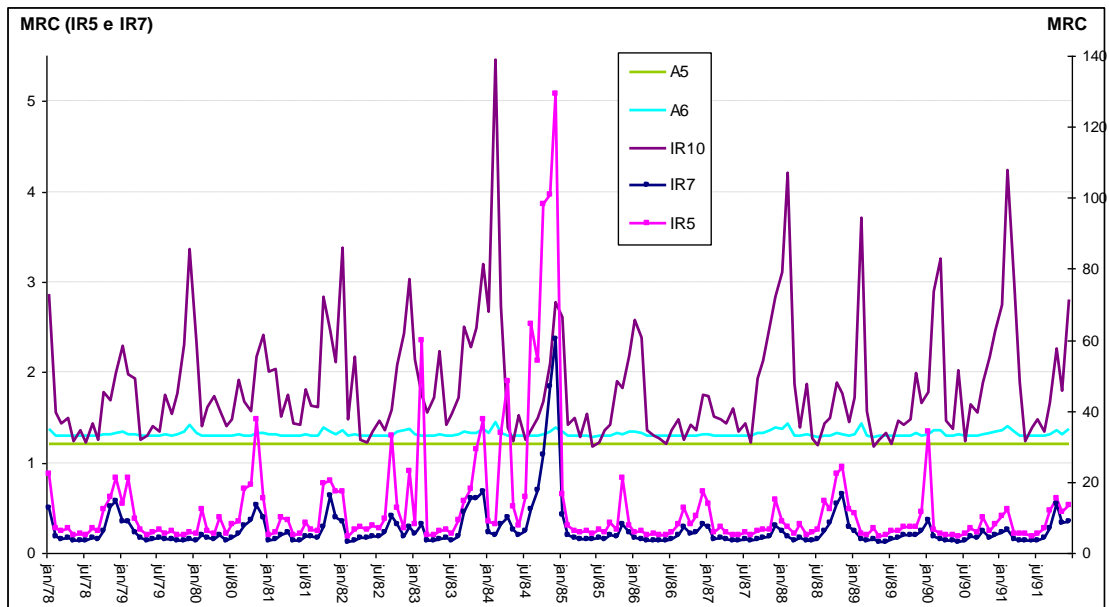


Figura 4.16 - Simulação nas nascentes do baixo Coruripe.

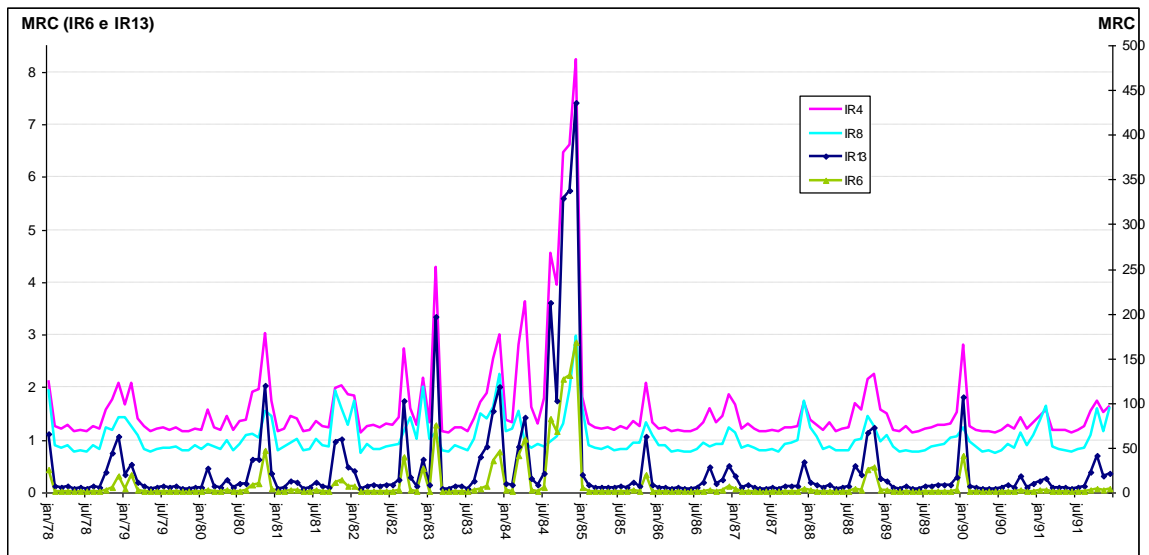


Figura 4.17 - Simulação nos afluentes do rio Coruripe.

Nota-se que os valores resultado da simulação da região das figuras anteriores (4.15 a 4.17) possuem ordem de grandeza maior que os valores contidos no rio principal, porque estes possuem áreas de drenagens (à montante) pequenas. Nesta simulação encontra-se também o maior valor, trata-se do ponto IR 16, isto se deve a três fatores: além da sua localização de nascente, da sua demanda que é muito elevada em relação aos outros pontos e do seu regime de chuva.

Quanto à temporalidade, em relação a todas as simulações, destaca-se que os maiores valores se apresentam em Dezembro de 1983 e 1984, devido à pluviometria da região, pois estes períodos apresentam os menores valores de precipitação nas estações catalogadas. Assim,

dependo da influência dos postos, calculado a partir do método de Thiessen, os valores extremos superiores podem alternar entre Dezembro de 1983 ou Dezembro de 1894.

4.3 Aplicações do Modelo

Na tentativa de mostrar a utilidade do modelo proposto no universo da gestão de recursos hídricos, a seguir serão apresentadas algumas aplicações, uma em cobrança pelo uso da água e outorga de direitos dos usos dos recursos hídricos.

4.3.1 Cobrança pelo uso da água

A aplicação em cobrança pelo uso da água será regida pela seguinte equação, inspirada na equação 2.1, onde os coeficientes de ponderação é resumido pelo MRC, ou seja, nesta aplicação será contemplada apenas os atributos de ordem locais e temporais; e o valor de referência é unitário. Nesta simulação não será considerada os seguintes coeficientes: do tipo de uso (C – Equação 2.1), da eficiência do uso da água (D – Equação 2.1) e do tipo do manancial (E – Equação 2.1). Assim, os coeficientes A e B, que representam respectivamente a estação do ano e o local de captação serão representados nesta simulação pelo ponderador proposto neste trabalho, o MRC. Importante destacar que a cobrança pelo uso da água deve ser aplicada com parcimônia, levando-se em consideração outros aspectos como a eficiência do uso da água, tipo de uso, a capacidade de pagamento do usuário, para que não comprometa a aceitação deste instrumento frente pela sociedade. O valor de referência da cobrança será adotado como unitário e os volumes captados serão obtidas a partir da tabela 4.3, quando convertida em volumes mensais. A equação que rege a aplicação do MRC em cobrança pelo uso da água, pode ser visualizada abaixo (Equação 4.1).

$$S_i = \text{MRC} \cdot S_{\text{ref}} \cdot Q_i \quad (4.1)$$

Onde:

S_i = valor cobrado por usuário (\$);

MRC = método de razões combinadas;

S_{ref} = valor de referência da cobrança adotado como 0,01 \$/m³; e

Q_i = volume captado por usuário (m³).

Esta aplicação será realizada na Bacia Hidrográfica do rio Coruripe, o MRC usado será os resultantes da simulação realizada no item anterior. A seguir os resultados das aplicações realizadas, em forma de arrecadações médias mensais e totais anuais.

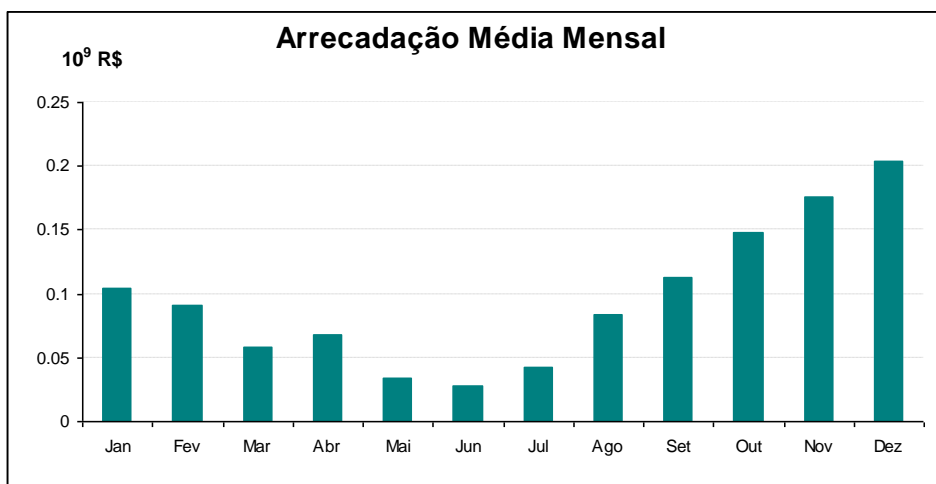


Figura 4.18 – Arrecadações mensais média.

Observa-se da figura 4.18, o indicativo dos incentivos econômicos do modelo proposto condicionado aos aspectos temporais, pois nos meses que há escassez de água os valores arrecadados neste período são bem maiores que nos outros meses, mantendo-se constante a demanda (Q_i) e o valor de referência de cobrança ($\$_i$). Quanto aos valores de demanda constante, destaca-se que os valores foram assim considerados por dois motivos: i.

- Devido às restrições dos dados coletados, ou seja, apenas foram coletados volumes anuais de demanda, os quais foram convertidos em volumes mensais;
- Para evidenciar o caráter temporal da metodologia proposta.

Dado as observações feitas anteriormente, não poderá ser realizada nenhuma conclusão quanto ao potencial arrecadatório, sobretudo quanto aos usuários sucro-alcooleiro, pois estes tem sazonalidade da demanda devido a utilização da água da chuva nos canaviais nos períodos chuvosos.

Apesar das médias mensais pluviométricas, por exemplo, dos meses de outubro, novembro e dezembro serem bastante semelhante (Vide figura 4.3) os valores arrecadados seriam diferenciados porque nos postos que o mês de novembro e outubro tem maior índice pluviométrico em relação ao mês de dezembro nas áreas de contribuição dos usuários que possuem valores de demanda maiores.

Quanto às arrecadações anuais, apesar do ano de 1983 possuir o menor índice pluviométrico considerando toda a bacia de estudo, o ano de 1984 obteve a maior arrecadação. Justifica-se este comportamento pelo simples fato de que os postos pluviométricos que levam o índice de chuva a diminuir os valores no ano de 1983 não são considerados nas simulações dos

principais usuários, ou seja, no cálculo do método do Thiessen para toda a bacia do rio Coruripe os postos que tem índices baixos são apreciados no cálculo; mas quando realiza-se a simulação nos usuários nem todos os postos são contemplados nesta simulação; considerando apenas os postos que tem maior valores de chuva.

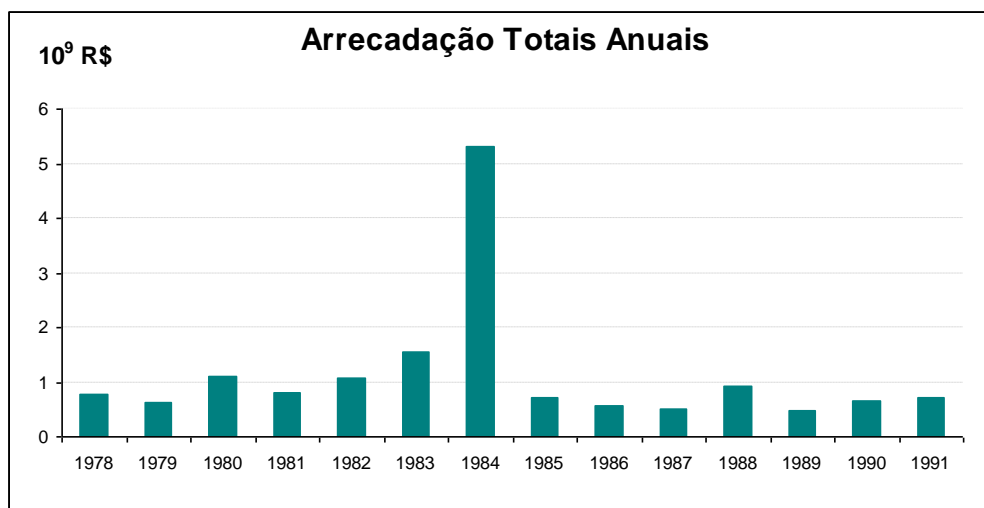


Figura 4.19 – Arrecadações totais anuais.

Os valores anuais arrecadados são da ordem de 10^9 R\$, enquanto que os valores mensais a amplitude é maior variando na ordem de 10^6 R\$ a 10^8 R\$, pois a variação dos índices pluviométricos dos meses são maiores que dos anos. Mostra-se, também que a ordem de grandeza dos valores arrecadados são relativamente altos em comparado as experiências de cobrança do Brasil; pode-se destacar dois fatores: não foi considerado a sazonalidade da demanda, ou seja, nos períodos chuvosos existe demanda o que em alguns usuários não condiz a realidade; outro ponto a destacar são valores muito altos encontrados pelo método (MRC) que seriam impraticáveis na realidade da Bacia, ou até mesmo do Brasil.

4.3.2 Outorga de direito de uso da água

A outorga de direitos de uso da água também será instrumento de aplicação do modelo de razões combinadas, usando o resultado da simulação na Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe será proposto um limite superior de outorga (retirada de água ou diluição de efluentes) variável em função da localização e tempo, através de uma porcentagem da vazão de referência, neste caso Q_{90} , e fazendo uso da simulação do modelo proposto. A equação que determina esse limite é descrita abaixo.

$$Q_{out} = \left(\frac{1}{1 + \text{MRC}} \right) \cdot Q_{90} \quad (4.2)$$

Onde:

Q_{out} = Vazão outorgável no ponto de estudo; e

Q_{90} = Vazão com 90% de garantia (esta foi calculada através de ponderação das áreas de contribuição, a partir da Q_{90} do local de instalação do posto fluviométrico catalogado na região – código 39980000).

O motivo para utilizar o inverso do MRC na determinação da fração da vazão referência, deve-se ao fato que os valores do MRC são maiores quanto maiores são escassez hídrica no local (o valor indireto da água – MRC - é contrário ao seu que fluxo), então seria uma discrepância utilizar este método para critérios de outorga, porque quanto maior o valor do MRC (ou seja, escassez), maior seria o valor da fração outorgada para o usuário. Portanto, decidiu-se usar o inverso dos valores de MRC. Pode-se questionar também porque no denominador utiliza-se $1 + \text{MRC}$ e não apenas o MRC. Isto pode ser explicado, em razão de, em alguns pontos a simulação do método proposto possuir valores bem próximos de zero, e com uso no denominador de apenas o MRC a porção outorgável da vazão de referência (Q_{90}) será muito maior que a unidade, é das experiências dos estados brasileiros mostra-se que esta fração é sempre menor que 1. Assim, foi adicionado no denominador mais um ($1 + \text{MRC}$), garantido que a fração da vazão de referência não excederá a unidade.

Essa aplicação traz uma inovação em relação aos valores de referência limite de utilização da água para efeito de outorga dos recursos hídricos, pois esses valores não são constantes no tempo nem no local; diferentemente dos valores limites utilizados nos estados brasileiros (Tabela 2.2) que são constantes. A seguir será analisada apenas a percentagem da Q_{90} , ou seja, o primeiro fator da equação acima, mostrando esta aplicação de outorga sazonais. Para esta análise a Bacia Hidrográfica foi dividida conforme a simulação do modelo (item 4.2.2) e os gráficos que seguem mostram seus respectivos resultados.

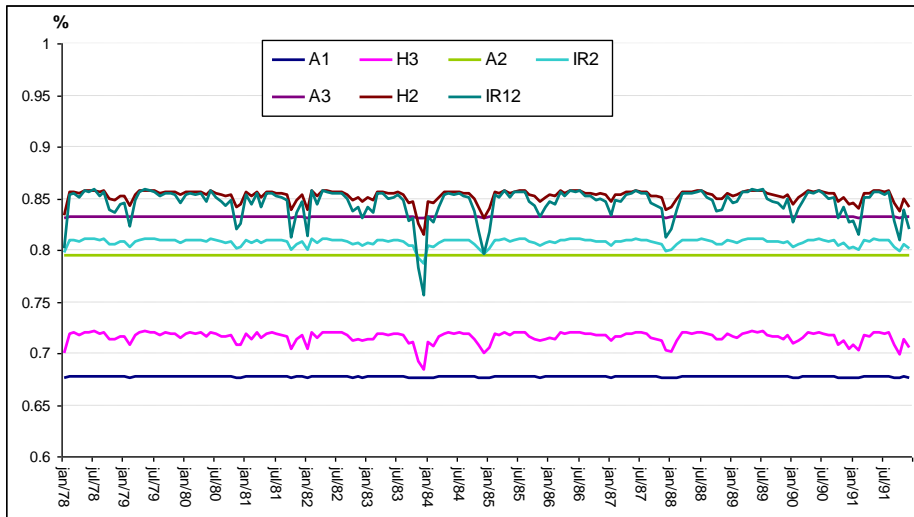


Figura 4.20 – Aplicação no rio Coruripe trecho alto

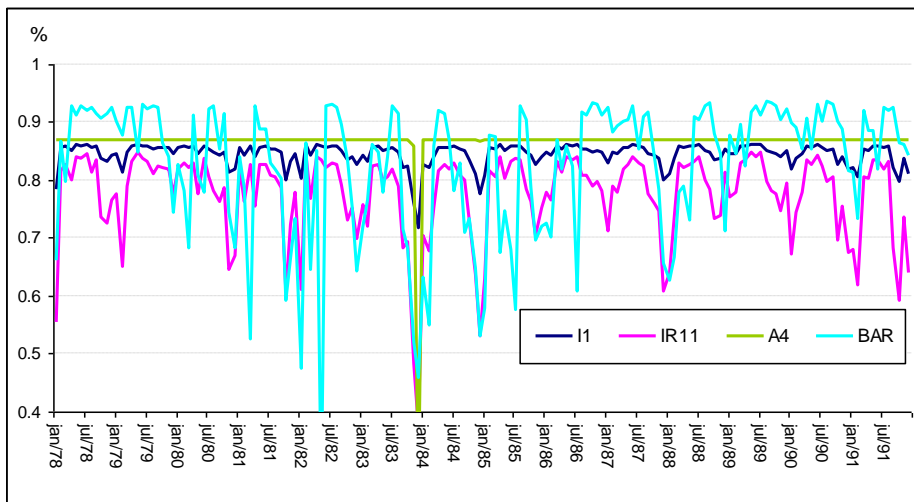


Figura 4.21 - Aplicação no rio Coruripe trecho médio.

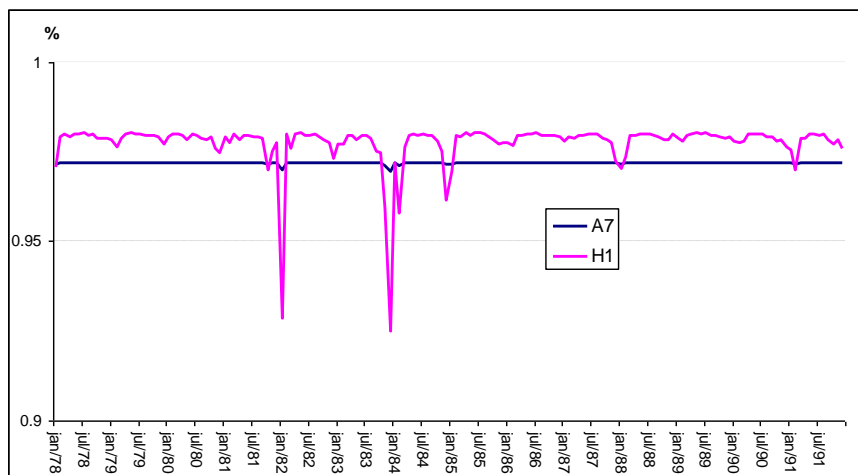


Figura 4.22 – Aplicação no rio Coruripe trecho baixo

Analisando os gráficos anteriores constata-se que quanto mais à montante menor é a porção da vazão de referência que pode ser utilizada pelo usuário, mostrando mais uma vez a importância das áreas de nascentes e permitindo a conservação destes locais pois a vazão natural pouco seria modificada. Nota-se também o reflexo temporal, haja vista que nos períodos mais secos, as percentagens estudadas caem significativamente, sobretudo em dezembro de 1893 e dezembro de 1984, na figura 4.22. Os pontos que têm o comportamento quase que constante pode ser explicado pelo motivo que as frações de vazão de referência é um reflexo predominantemente pelo aspecto locacional, tendo pouca influência do enfoque temporal, porque a modificação realizada na bacia é irrisória em relação a disponibilidade. A seguir os resultados da aplicação para as nascentes do alto e baixo Coruripe e para a região dos afluentes.

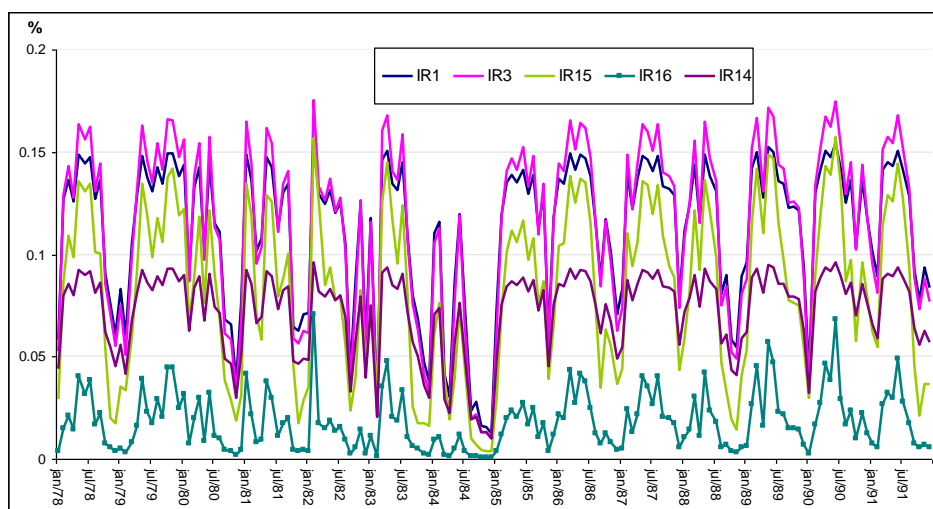


Figura 4.23 - Aplicação nas nascentes do alto Coruripe.

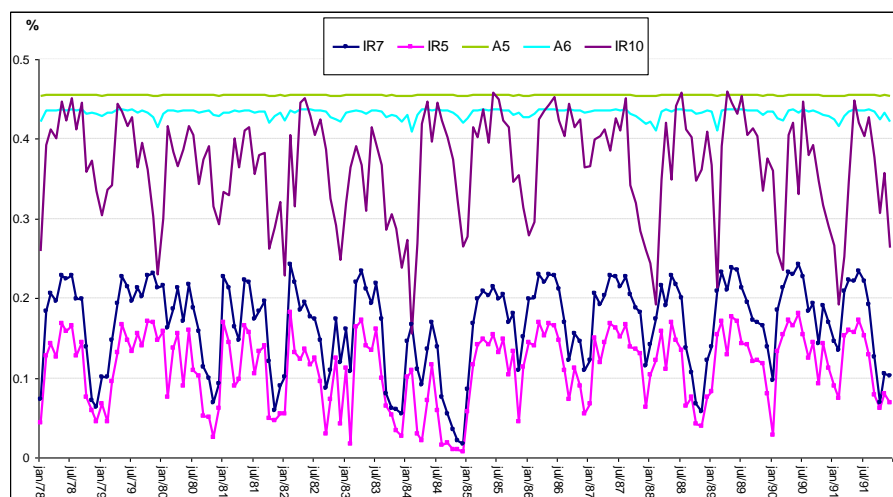


Figura 4.24 - Aplicação nas nascentes do baixo Coruripe.

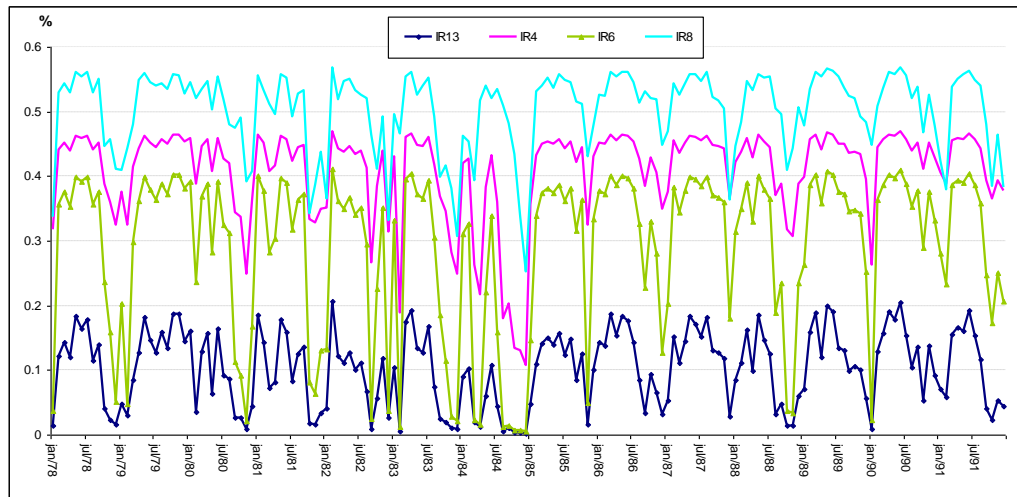


Figura 4.25 - Aplicação nos afluentes do rio Coruripe.

Nota-se que os resultados da aplicação na região das figuras anteriores (4.23 a 4.25) possuem ordem de grandeza menor (0 – 0,6) que os valores contidos no rio principal (0,7 – 1,0), pois se trata de modificações em sub-bacias que facilmente interfere quase que na totalidade sua área de influência, por isso deve proceder com mais cautela ao outorgar nestes pontos, destaca-se também que alguns destes pontos são localizados nas nascentes de pequenos tributários, que merecem mais atenção que de rios maiores, devido maior facilidade de degradação.

Como na simulação do modelo proposto, no ponto IR16, localizado, pela subdivisão realizada, na região nascente do alto Coruripe, foi encontrado o valor extremo, repetindo-se que este comportamento se deve a três fatores: localização de nascente, demanda muito elevada em relação aos outros pontos e o regime de chuva. Por o regime de chuva determinar os valores extremos da aplicação, salienta-se novamente que as características temporais da disponibilidade no local são contempladas no modelo.

Com o intuito de analisar ponto a ponto o atendimento da demanda frente a vazão limite outorgável, utilizando a equação 32 e sabendo que nos pontos de estudos existe apenas uma demanda (D), assim a vazão outorgável deve ser menor que esta, então:

$$D < Q_{out} = \left(\frac{1}{1 + \text{MRC}} \right) \cdot Q_{90} \quad (4.3)$$

Tendo o MRC descrito na equação 3.1, admitindo a demanda igual a Q_{out} e desenvolvendo algebricamente as equações, encontra-se o valor limite para a vazão outorgável como:

$$Q_{out} = \frac{\left[- \left(1 + \left[\frac{A_{jus}}{A_i - A_{jj} \cdot (n_j/n_t)} \right] \right) + \sqrt{\left(1 + \left[\frac{A_{jus}}{A_i - A_{jj} \cdot (n_j/n_t)} \right] \right)^2 + \frac{4 \cdot Q_{90}}{\hat{Q}_a}} \right]}{2 / \hat{Q}_a} \quad (4.4)$$

Então foi realizada a aplicação desta equação nos pontos de estudos e os resultados destas podem ser visualizados na figura 4.26 ou Anexo A.

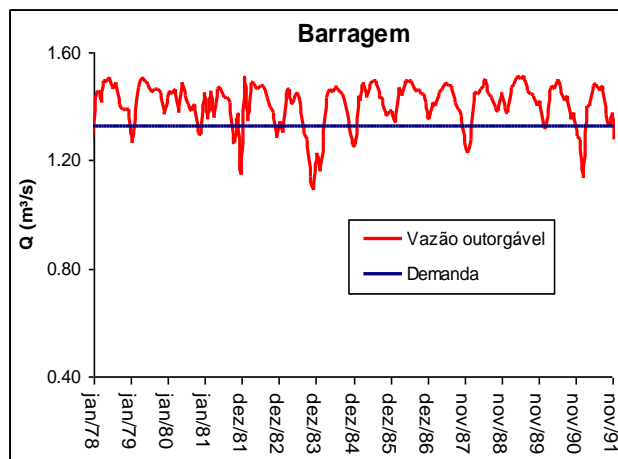


Figura 4.26 – Aplicação do MRC em outorga (Ponto BAR).

Na figura 4.26 é analisado o ponto de instalação da Barragem. Verifica-se que o atendimento de limite máximo outorgável é parcial, as suas demandas são atendidas apenas nas estações chuvosas. Nos meses de dezembro de 1981, 1983 e 1990, as vazões outorgáveis são menores que a demanda o que indica que estes meses foram meses de estiagens que necessitava de maior conservação do ecossistema aquático. Importante destacar que a função da barragem é regularizar vazões com o objetivo de atender as demandas, então neste ponto deve ser considerado outros fatores para permitir a outorga e licenciamento ambiental, por exemplo, à vazão regularizada e a mínima de descarga a jusante. Devem ser contemplados também outros fatores de ordem ambiental, aproximando a análise integrada do licenciamento ambiental do empreendimento com a outorga.

Analisando esta aplicação, destaca-se que quase a totalidade dos pontos destinados à irrigação não atendem integralmente a vazão limite outorgável, com exceção do ponto IR2, IR 11 e IR12, evidenciando-se a necessidade de estudos que viabilize a aplicação na região de técnicas de irrigação mais eficiente. Importante destacar que estes pontos não pertencem ao rio

principal, dando mais uma vez o cuidado especial para os pontos próximos a nascentes e de pequenos rios que alimentam o principal.

O ponto de demanda IR11 atende parcialmente ao limite proposto, este é excedido justamente em dezembro de 1983 e dezembro de 1984, indicando a importância de uma redução nas vazões captadas nos períodos de estiagens para os usuários irrigantes. Os pontos IR2, IR12 e os demais pontos possuem demanda inferior ao limite, por se tratar de pontos que não estão localizados em proximidade de nascentes, com exceção do ponto A5 e A6 que possuem a demanda bem abaixo dos valores usados para a irrigação.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com esse trabalho foi possível determinar critérios de cobrança pelo uso da água em função das alterações no regime hidrológico, considerando os aspectos temporais e espaciais. Ponderando, também a modificação que um usuário acarreta nos demais através de uma interferência no regime vazões.

Da teoria exposta da literatura sobre o valor indireto da água, obtém-se instrumentos para melhorar decisões em gerenciamento de recursos hídricos entre outros, refletida na metodologia proposta. Esta metodologia utiliza dados de chuvas, informações quanto ao uso do solo e características e dados geométricos da bacia, além da demanda do usuário.

No Brasil, a rede pluviométrica é mais densa que a rede fluviométrica, existem muitos estudos voltados à determinação da propriedade do solo quanto à permeabilidade, como também sobre a propriedades de escoamento devido ao uso do solo. Os dados geométricos da bacia podem ser encontrados através de técnicas de geoprocessamento e a demanda do usuário é simplesmente fornecida pelo mesmo ao órgão gestores em recursos hídricos. Logo, é possível estabelecer um modelo simplificado. A aplicabilidade deste método nos órgãos responsáveis fica condicionada a infra-estrutura destas instituições, que em alguns caso podem apresentar problemas relacionados com falta de técnicos especializados, em quantidade incompatível com suas atividades, entre outros.

Mostra-se que o modelo sugerido é uma ferramenta útil não apenas no processo de escolha de critério da cobrança pelo uso da água, mas como também nas questões ligadas a parcela outorgável das vazões; na elaboração de estudo de impacto ambiental de um empreendimento (eliminando um pouco da subjetividade que predomina neste processo); sobretudo na presença de reservatórios que modificam agudamente as características naturais do corpo de água. Este pode ainda, auxiliar nos aspectos de incentivos fiscais e econômicos, nas figuras dos impostos e taxa de juros diferenciados para liberação de crédito dos empreendimentos.

A partir da análise crítica da literatura, nota-se que este método proposto segue o padrão dos modelos sugeridos da literatura. Observa-se, também, que geralmente o modelo B é mais taxativo, pois este considera além da temporalidade e sazonalidade; a fração apropriada pelos usuários da disponibilidade hídrica. Em relação ao modelo C, ele penaliza mais quando a alteração no regime é de tal forma que reduzem as vazões. Enquanto que o método proposto considera todos os aspectos: temporalidade, sazonalidade, nível de comprometimento das vazões. Além disso, o MRC trata de forma indiferente se a modificação do hidrograma é uma

redução ou acréscimo na vazão. Quanto à aplicação em cobrança pelo uso da água, o estudo do potencial arrecadatório da bacia foi prejudicado, devido à simplificação realizada nas simulações do método proposto (considerar a demanda constante no tempo). Mostrou-se, também que da simulação realizada encontrou-se valores muito elevado, na ordem de 2000 unidades, o que não condiz com a realidade. Assim, deve-se aplicar este instrumento com parcimônia, levando-se em consideração outros aspectos como a eficiência do uso da água, tipo de uso, a capacidade de pagamento do usuário, para que não comprometa a aceitação deste instrumento frente aos usuários, dando atenção especial às usinas de açúcar e álcool. Evidencia-se mais vez a velha máxima da microeconomia, que quanto mais escasso o insumo maior será seu valor.

No que concerne à aplicação em outorga de direito de uso da água é trazida uma inovação em relação aos valores de referência limite de utilização da água por parte dos usuários, pois se propõe que os valores limites outorgáveis variem com o tempo e o local; diferentemente dos valores limites utilizados no Brasil que são constantes. Desta aplicação observa-se que os irrigantes da bacia fazem uma pressão na disponibilidade hídrica na região, mostrando-se que é necessário estudos que viabilize a aplicação na região de técnicas de irrigação mais eficiente. O modelo proposto, também, dá um indicativo da importância hidrológica, paisagística e da biodiversidade das áreas de nascentes, auxiliando a conservação destes locais.

Sobre o enfoque em licenciamento ambiental, mesmo se tratando de uma aplicação com dados hipotéticos, foi possível mostrar que o modelo proposto pode ser útil no uso deste instrumento da política ambiental, através de uma definição de um valor limite por parte do órgão gestor, verifica-se se este valor foi excedido com a implantação de um novo projeto, auxiliando os órgãos ambientais na liberação deste novo empreendimento. Assim, aproximam-se também as esferas administrativas em recursos hídricos e meio ambiente, logo que o mesmo ponderador (MRC) pode ser utilizado em como ambos instrumentos.

Com este trabalho, encontra-se maneiras de auxiliar os órgãos gestores em recursos naturais, haja vista a gama de aplicação deste modelo nestas instituições, mesmo que seja de uma forma primária, porém satisfatória. É importante ressaltar que os melhores resultados são obtidos de técnicas com dados hidrológicos confiáveis e consistentes.

Em virtude das dificuldades enfrentadas para a realização do presente trabalho, bem como das principais conclusões obtidas, recomenda-se para a região de estudo:

- Que sejam empreendidos esforços para dotar a bacia hidrografia do rio Coruripe de uma rede de monitoramento quali-quantitativo de seus recursos hídricos superficiais e subterrâneos;
- Realização de um cadastro dos usuários dos recursos hídricos da bacia em estudo, que possa permitir um melhor conhecimento das vazões retiradas, como a sazonalidade destas;
- Proposição de estudo que visem encontrar coeficientes e critérios que facilite a viabilidade da cobrança pelo uso da água e que contemple os aspectos como a eficiência do uso da água, tipo de uso, a capacidade de pagamento do usuário para aplicação em conjuntos com os coeficientes temporais e locacionais aqui propostos;
- Realização de estudos que considerem, de forma integrada e mais aprofundada, a aplicação dos instrumentos de recursos hídricos da política alagoana na região, tais como: Planos Diretores de Bacias Hidrográficas; o enquadramento dos corpos de água, segundo os usos preponderantes da água; a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; o Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos; o Fundo Estadual de Recursos Hídricos entre outros.

Quanto ao método proposto, recomenda-se para trabalhos futuros:

- A utilização de modelos hidrológicos mais sofisticados/complexos no método proposto a partir de estudo mais aprofundado da hidrologia da região em estudo, buscando encontrar as características mais precisas de todas variáveis (infiltração, evaporação entre outras), evitando super estimativa e sub estimativa dos valores;
- Que seja desempenhado estudos que considere no cálculo da ponderação dos impactos na bacia devido à intervenção de um usuário, a modificação do regime de vazões como um todo, como: magnitude, duração, frequência, período de ocorrência e forma dos eventos de cheia e de estiagens (taxas de subida e descida de níveis), sobretudo nos locais de implantação de uma barragem;
- Estudos que contemple na avaliação dos impactos da construção de um reservatório quando relacionado com valores, a alteração em todos os fatores qualitativos da hidrologia, como transporte de sedimentos, ciclos de nutrientes, biota aquática, estrutura, funcionalidade além da própria qualidade da água efluente.
- Que o método proposto seja aplicado em instrumentos econômicos, como incentivos fiscais e impostos diferenciados; em instrumentos de gestão ambiental com a possibilidade de integração com os critérios de outorga.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRA S. G., SOUZA, C. F., SILVA, L. M. C. da, CARVALHO, G. da S. & COLLISCHONN, W. **Inserindo o Hidrograma Ecológico no SINGREH.** In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, novembro de 2007. ABRH. Em CD-ROM.
- AGUDELO, J.I. The Economic Valuation of Water Principles and methods. **Value of Water Research.** Report Series n° 5, Zuid-Holland. 2001. 20p.
- ALAGOAS. Lei Estadual n°. 5.965, de 10 de novembro de 1997. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.semarhn.al.gov.br/>>. Acesso em: 26 de maio de 2006.
- ALAGOAS. Decreto n°. 006 de 23 de novembro de 2001. Regulamenta a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, Maceió, AL.
- ARNEZ, F. A. & PEREIRA, J. S., 2002. Situação **da outorga dos direitos de uso da água em alguns Estados Brasileiros.** In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Maceió, novembro de 2002. Anais. ABRH. Em CD-ROM.
- BRASIL. Lei Federal n.º 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.cnrhsrh.gov.br/>>. Acesso em: 28 de julho de 2006.
- BRASIL. Lei n.º 4.771, de 15 de Setembro de 1965. Dispõe sobre o Código Florestal Brasileiro.
- BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 05 de outubro de 1988. Institui um Estado Democrático.
- BRASIL. Resolução do CNRH n.º 48 de 21 de março de 2005. Estabelece critérios gerais para cobrança pelo uso dos recursos hídricos.
- CARVALHO, F. da S. **Localização de Reservatórios Através de Técnicas De Otimização em Ambiente de Geoprocessamento: Estudo de Caso na Bacia do Rio Coruripe, em**

- Alagoas.** 2006. 138f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Instituto de Pesquisa Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2006
- LOUCKS, P.D. **Water resource systems planning and analysis.** Library of Congress Cataloging in Publication Data. New Jersey. 1981. 556 p.
- LANNA, A. E., 1999. **Notas de Aulas: Capítulo 3 - O Processo de Planejamento para a Gestão das Águas.** Disciplina Economia de Recursos Hídricos. UFRGS-IPH. 27p.
- MENDES, C. A. B & CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, Integração e Aplicação.** Porto Alegre; ABRH, 2001. 555 p.
- MENDES, C. A. B. 2007. **Notas de Aulas Exemplo 1a.** Disciplina de Análise Sistêmica dos Recursos Hídricos. UFRGS-IPH
- NEVES, M. A., PEREIRA, S. Y, & FOWLER. H. G.. Impactos Do Sistema Estadual De Gerenciamento De Recursos Hídricos Na Bacia Do Rio Jundiá (SP). Ambiente & Sociedade. Campinas Volume X, nº 2, 149-160, Campinas 2007.
- PEREIRA, J. S. **Introdução à Cobrança pelo uso da água bruta.** In: Curso de Introdução à Cobrança Pelo uso da Água Bruta. João Pessoa, Maio de 2007. CD - ROM
- PEREIRA, J.S. & LANNA, A. E. 1997. **Análise de Critério de Outorga dos Direitos de Uso.** In: XII Simpósio Nacional de Recursos Hídricos do Nordeste. Salvador, outubro de 1997,. Anais. ABRH. Em CD-ROM.
- PEREIRA, J. S., OLIVEIRA, D. E. B., PONTES, P. R. M. & PEREIRA, T. A. S. 2005. **A gestão dos recursos hídricos em alagoas: o caso da outorga dos direitos de uso da água.** In: XVI Simpósio de Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa, novembro de 2005. Anais. ABRH. Em CD-ROM.
- PORTO, R. la L.; LANNA, A. E. L.; BRAGA Jr, B. P. F.; CIRILO, J. A.; ZAHED Filho, K.; AZEVEDO, L. G. T. de; GOBETTI, L.; BARROS, M. T. L. DE; BARBOSA, P.S.F.

Técnicas quantitativas para o gerenciamento de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH, 1997. 420 p.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para a outorga e a cobrança pelo uso da água: simulação de um caso.** Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Instituto de Pesquisa Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2000. 200p.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. & ROCHA M. S. W. **Estruturas de Cobrança pelo Uso da Água: Reflexões Sobre Algumas Alternativas.** In: Simpósio Internacional sobre Gestão de Recursos Hídricos. Anais ... Gramado, outubro de 1998.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS [SEMARH]. 2002. Plano Diretor de Recursos Hídricos: Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe. Alagoas. Latin Consult.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS [SEMARH]. 2006. Estudo de Impacto Ambiental – Barragem Coruripe I. Alagoas. GAMA Engenharia de Recursos Hídricos Ltda.

SEYAM, I.M., HOEKSTRA, A.Y., SAVENIJE, H.H.G. Calculation methods to assess the value of upstream water flows and storage as a function of downstream benefits. **Physics and Chemistry of the Earth.** Report Series nº 27, 977 – 982, 2002.

SEYAM, I.M., HOEKSTRA, A.Y., SAVENIJE, H.H.G. The water value-flow concept. **Physics and Chemistry of the Earth.** Report Series nº 28, 175 – 182, 2003.

TUCCI, C.E.M. **Regionalizações de Vazões.** Editora da Universidade UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). 1ª Edição. Porto Alegre. 2002. 107p.

THOMAS, P. T. **Proposta de Uma Metodologia de Cobrança pelo Uso da Água Vinculada à Escassez.** 2002. 139f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2002.

WURBS, R. A & JAMES W. P. **Water resources engineering**. New Jersey: Prentice Hall, 2002, p. 729 - 735.

ANEXO A

O Anexo A contém as figuras obtidas da aplicação do modelo proposto em outorga pelo uso da água, nos pontos de demanda da Bacia Hidrográfica do Rio Coruripe, onde são confrontados com os limites outorgáveis de cada ponto.

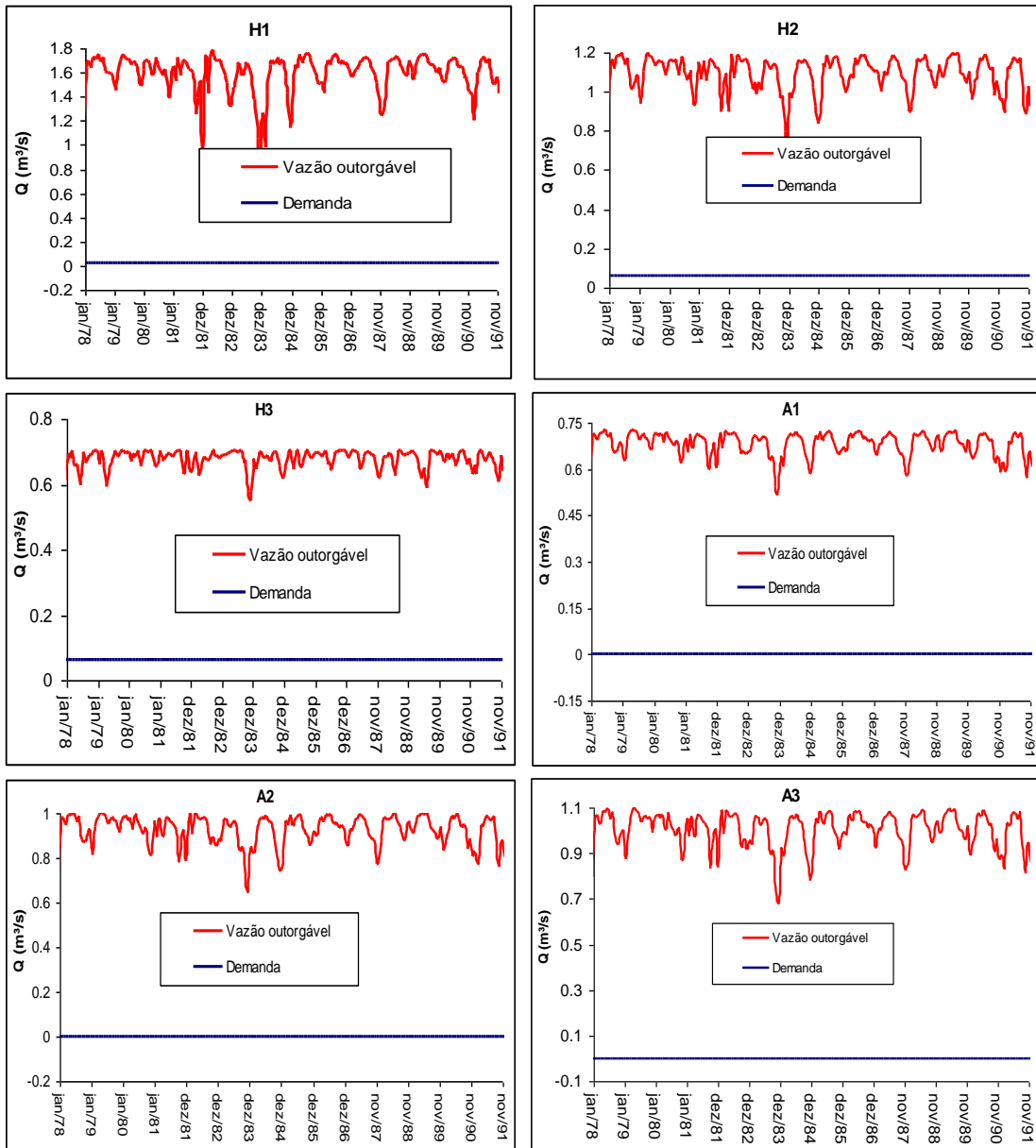


Figura A.1 – Aplicação do MRC em outorga nos pontos H1, H2, H3, A1, A2 e A3.

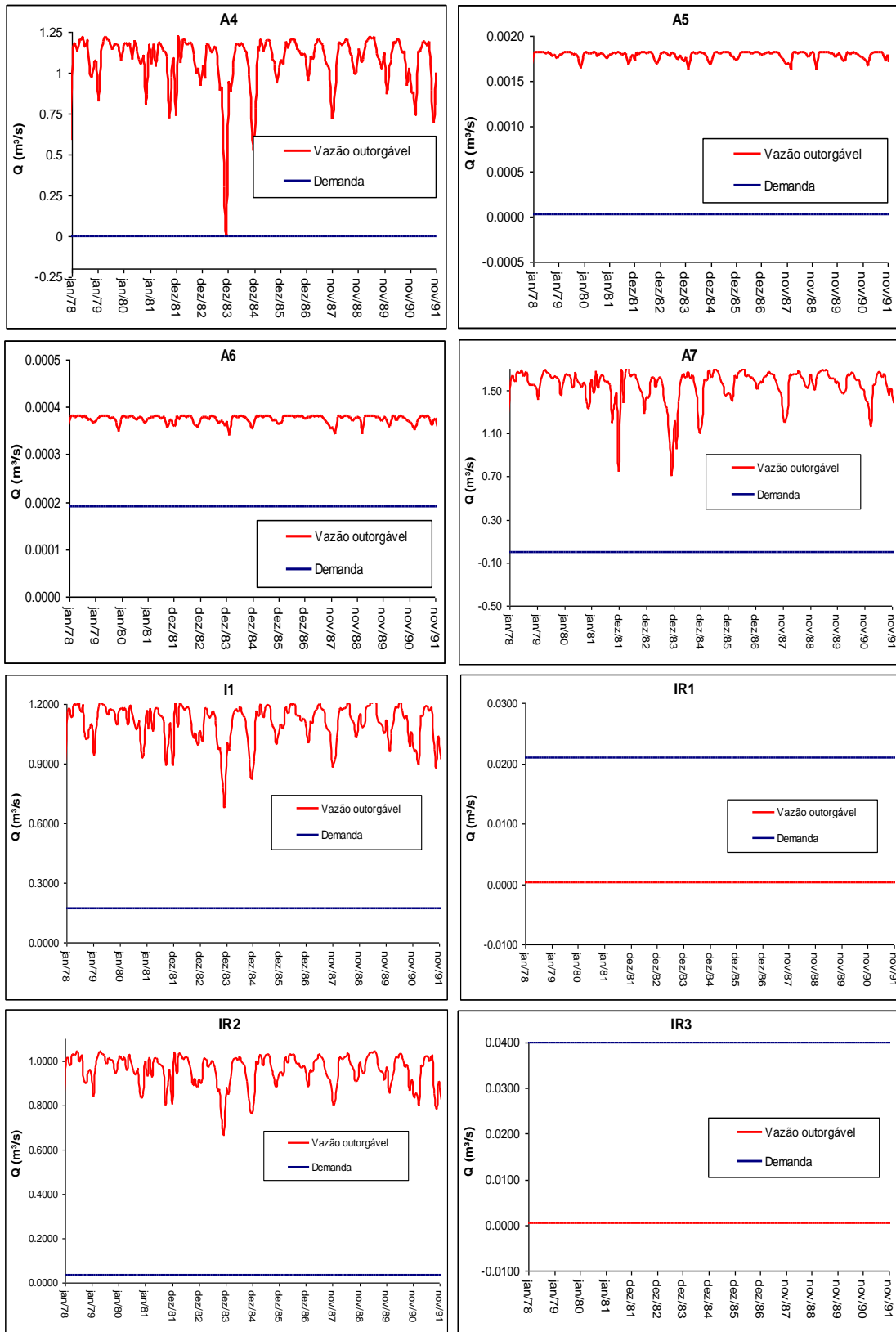


Figura A.2 – Aplicação do MRC em outorga nos pontos A4, A5, A6, A7, I1, IR1, IR2 e IR3.

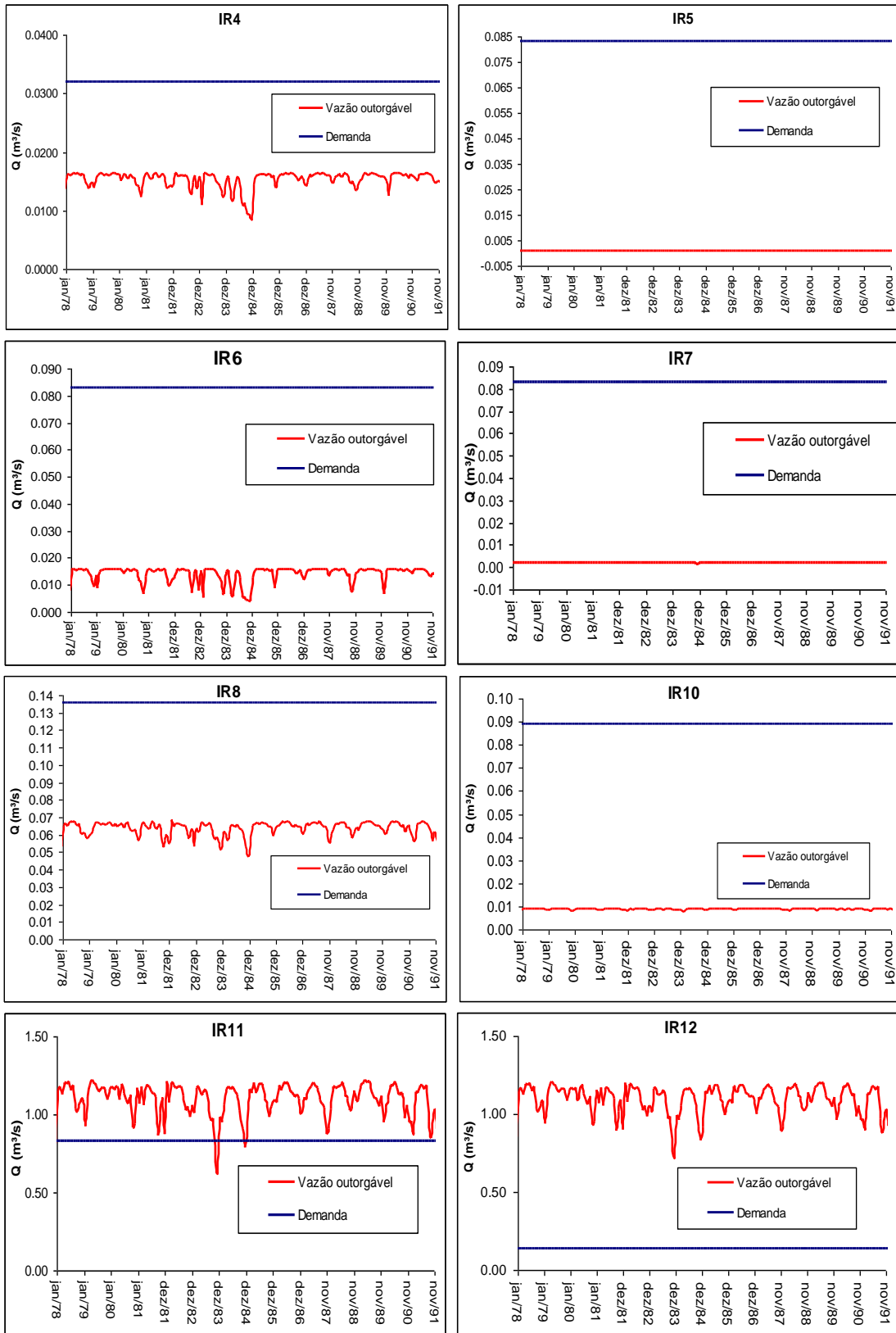


Figura A.3 – Aplicação do MRC em outorga nos pontos IR4, IR5, IR6, IR7, IR8, IR9, IR10, IR11 e IR12.

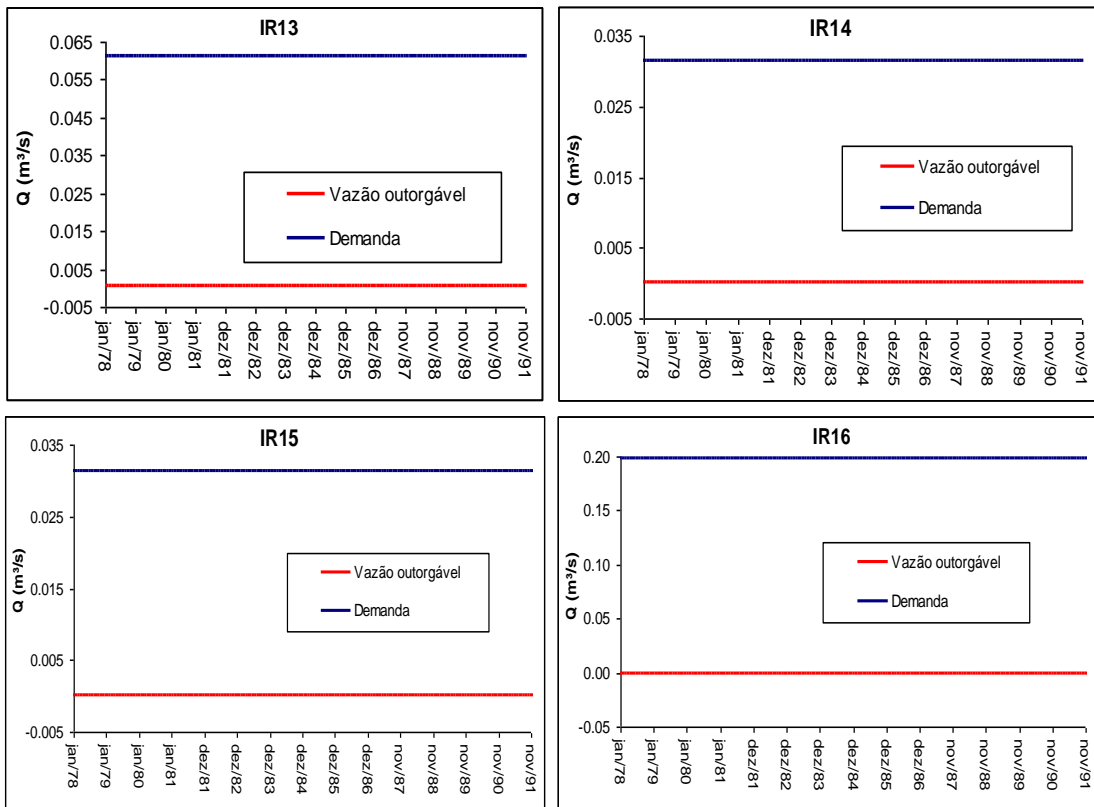


Figura A.4 – Aplicação do MRC em outorga IR13, IR14, IR15 e IR16.

ANEXO B

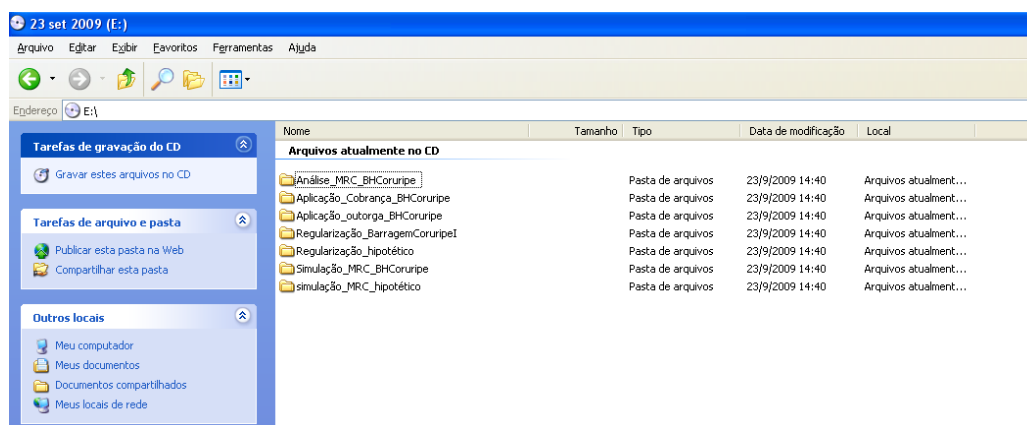


Figura B.1 – Descrição dos arquivos e programas utilizados neste trabalho.

Encontram-se disponíveis em CD, em anexo, a estrutura de arquivos mostrada na figura B.1, que foram utilizadas neste trabalho. Na primeira pasta intitulada “**Análise_MRC_BHCoruripe**” se encontra seis planilhas, uma para cada divisão da região de estudo, onde são mostrados todos os valores de MRC para cada ponto de estudo situados em sua respectiva divisão. Destas planilhas foram elaboradas as figuras 4.12 a 4.17.

Na segunda pasta, conforme o próprio nome já indica, foi realizada a aplicação do instrumento da cobrança na bacia hidrográfica do Rio Coruripe, esta possui o valor arrecadado desta aplicação para cada mês e ano, para o seu correspondente ponto de estudo. Daqui extraíram-se as figuras 4.18 e 4.19.

Do mesmo modo, na terceira pasta foi realizada a aplicação em outorga pelo uso da água na bacia hidrográfica do Rio Coruripe, mostrando o limite outorgável para cada usuário e cada período. Destas informações montou-se as figuras 4.20 a 4.26.

A pasta “**Regularização_BarragemCoruripeI**” possui os dados necessários ao processo de otimização que subsidiam a regularização de vazões na Barragem Coruripe I e os resultados desta otimização, nesta pasta encontra-se os gráficos 4.9 e 4.10.

Semelhante a pasta anterior, a pasta “**Regularização_Hipotético**” possui as informações para a realização da otimização e seus resultados para a barragem hipotética descrita no desenvolvimento da metodologia deste trabalho. Pode ser visualizado os dados desta pasta a partir da figura 3.8 e 3.10.

As pastas “**Simulação_MRC_BHCoruripe**” e “**simulação_MRC_Hipotético**” possuem respectivamente todos os dados necessários a simulação do método proposto (método das razões combinadas) neste trabalho para a bacia do Rio Coruripe e para a região hipotética descrita neste trabalho, assim como seus resultados.