

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

PAULO EDUARDO MARQUES

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE APOIO À DECISÃO  
PARA ALOCAÇÃO DE ÁGUA NA AGRICULTURA IRRIGADA  
EM NÍVEL DE MICROBACIA HIDROGRÁFICA**

VITÓRIA  
2015



PAULO EDUARDO MARQUES

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE APOIO À DECISÃO  
PARA ALOCAÇÃO DE ÁGUA NA AGRICULTURA IRRIGADA  
EM NÍVEL DE MICROBACIA HIDROGRÁFICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Edmilson Costa  
Teixeira.

VITÓRIA

2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial Tecnológica,  
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

M357d Marques, Paulo Eduardo, 1979-  
Desenvolvimento de sistema de apoio à decisão para  
alocação de água na agricultura irrigada em nível de microbacia  
hidrográfica / Paulo Eduardo Marques. – 2015.  
282 p. : il.

Orientador: Edmilson Costa Teixeira.  
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) –  
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Recursos hídricos – Administração. 2. Manejo da irrigação.  
3. Sistemas de suporte de decisão. 4. Sistemas de recuperação  
da informação. 5. Agricultura familiar. 6. Outorga de recursos  
hídricos. I. Teixeira, Edmilson Costa. II. Universidade Federal do  
Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**“Desenvolvimento de sistema de apoio à decisão para alocação de água na agricultura irrigada em nível de microbacia hidrográfica”.**

**PAULO EDUARDO MARQUES**

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira  
Orientador – DEA/CT/UFES

---

Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis  
Examinador Interno – DEA/CT/UFES

---

Prof. Dr. Rubens Alves de Oliveira  
Examinador Externo – UFV

Coordenador do PPGEA: Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
Vitória, ES, 20 de fevereiro de 2015



A minha esposa, Meili, pelo apoio,  
compreensão e companheirismo.

A meu irmão, Felipe de Azevedo  
Marques, pelo incentivo e inspiração.





## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a meus pais, Paulo e Alcione, por me ensinarem o valor dos estudos. Obrigado pelo carinho, conselhos e torcida de sempre.

Agradeço imensamente a minha querida esposa, Meili, pelos gestos de amor e de incentivo, desculpando-me pelas horas roubadas da nossa convivência.

Ao Prof. Dr. Felipe de Azevedo Marques, amigo e irmão, por compartilhar o seu conhecimento em Recursos Hídricos e por fazer crescer o meu interesse na área.

Ao Prof. Dr. Alessandro do Nascimento Vargas, pela amizade desde a graduação e por incentivar-me a retomar as atividades acadêmicas.

Ao Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira, pela orientação valiosa, pelas discussões sempre enriquecedoras e pela confiança demonstrada desde a minha seleção como seu orientado.

Ao Prof. Dr. José Antônio Tosta dos Reis e ao Prof. Dr. Rubens Alves de Oliveira, integrantes da comissão examinadora, pelos valiosos comentários e contribuições.

Serei sempre grato ao Prof. Dr. José Gonçalves Pereira Filho, por orientar os meus primeiros passos na ciência durante a graduação em Engenharia de Computação e por despertar em mim o interesse pela pesquisa.

Muito obrigado a todos os meus colegas do LabGest/UFES, em especial, ao Gemaél Barbosa Lima, que me ajudou muito nas atividades de campo.

Aos técnicos do IEMA e do INCAPER, pelas valiosas contribuições neste trabalho; à Prefeitura Municipal de Itarana/ES, pelo apoio durante as visitas ao município; e aos produtores da bacia do Córrego Sossego, pela receptividade e colaboração.

Sou grato a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente ao povo brasileiro que possibilitou os meus estudos e formação no curso Mestrado em Engenharia Ambiental.



“Eu não temo os computadores, temo  
a ausência deles.”

Isaac Asimov



## RESUMO

A agricultura familiar é responsável por mais da metade da produção mundial de alimentos, confirmando a necessidade de investimentos inteligentes para gestão hídrica e manejo da irrigação, seja através da disseminação de técnicas simples para captação, armazenamento e distribuição de água, ou da promoção de novas tecnologias, que incentivem a gestão democrática e favoreçam o diálogo para se alcançar uma distribuição cada vez mais justa da água entre os usuários. Nesse contexto, a presente pesquisa objetiva contribuir para o aperfeiçoamento da autogestão comunitária de recursos hídricos por microbacia, através do uso coordenado e integrado de ferramentas de auxílio ao manejo de irrigação (ex.: irrigômetros) e de um sistema de apoio à decisão para alocação de água de forma justa, participativa e consensual entre os usuários, pequenos produtores rurais de base agrícola familiar. São apresentadas todas as etapas da implementação do sistema de informações, discutindo os métodos e resultados desde o levantamento de requisitos, integração com irrigômetros, construção da base de dados, modelagem matemática do problema de otimização, validação das funcionalidades disponibilizadas na *internet* e proposição das diretrizes de uso. Como resultado, foi desenvolvida uma rotina de otimização com a finalidade de planejar a distribuição da água ao longo do tempo e do espaço, gerenciando o uso entre montante e jusante e evitando a competição em determinados horários. O processo aloca, sempre que possível e respeitando as restrições de vazões outorgáveis dos cursos d'água e os volumes úteis dos reservatórios, toda a água disponível ao longo do período de planejamento, seja para irrigação ou para reservação, dando preferência às demandas prioritárias. A modelagem do problema de otimização foi baseada nos modelos de rede de fluxo, utilizando técnicas de programação linear. Também foi disponibilizada uma base de dados para o armazenamento de informações geográficas, hidrológicas, administrativas e todo o histórico de utilização dos recursos hídricos, permitindo a gestão dos dados de disponibilidade e demanda, e a gestão administrativa dos processos de outorga pelos órgãos gestores. A interface com os usuários é realizada através de uma aplicação *web*, com um controle de acesso diferenciado, que habilita funcionalidades específicas de acordo com cada tipo de usuário. Além das funcionalidades básicas de cadastro e consulta, também foi disponibilizada, na aplicação *web*, um módulo de simulação, onde é possível registrar todas as informações relevantes para a execução da rotina de otimização e verificar o resultado do planejamento de alocação da água entre os usuários, incentivando a participação da comunidade nas tomadas de decisões. Como demonstração, é apresentada a aplicação do sistema em uma microbacia hipotética. Nas simulações, dez culturas distintas competem pela água disponível de uma rede hidrográfica através de captações superficiais em cursos d'água e em reservatórios. Além de validar as funcionalidades desenvolvidas, também foi verificado o potencial de utilização do sistema na avaliação de impactos de ajustes em restrições de outorgas, de inclusões de novas culturas, de alterações nas vazões de operação dos sistemas de captação ou irrigação, de ajustes do período disponível para operação e de mudanças no dimensionamento de reservatórios.

**Palavras-chave:** Gestão de recursos hídricos. Outorga coletiva. Sistemas de suporte a decisões. Modelos de otimização. Programação linear. Agricultura familiar. Manejo de irrigação. Irrigômetro.



## ABSTRACT

Family farming is responsible for more than half the world's food production, confirming the need for smart investments in water and irrigation management, through the dissemination of simple techniques for water harvesting, storage, and distribution, as well as through the promotion of new technologies that encourage democratic governance and promote dialogue to achieve an ever more fair distribution of water among users. In this context, this research aims to contribute to the improvement of community self-management of water resources in watershed level, through coordinated and integrated use of irrigation management support tools (e.g., irrigâmetros) and a decision support system for fair water allocation with participation and consensus among users, small farmers, family farm basis. All stages of the implementation of the information system are presented, discussing the methods and results from requirements gathering, integration with irrigâmetros, database building, mathematical modeling of the optimization problem, validation of the capabilities available on the internet and proposition of usage guidelines. As a result, it was developed an optimization routine in order to plan the water distribution over time and space, managing the use of upstream and downstream and avoiding competition at specific times. The process allocates, whenever possible and respecting the flow constraints of watercourses and the useful volumes of the reservoirs, all the available water throughout the planning period, either for irrigation or for reservation, ensuring preference to the priority demands. The modeling of the optimization problem was based on network flow models using linear programming techniques. A database was also provided to store geographical, hydrological and administrative data, as well as all the historical use of water resources, enabling the data management of water availability and demand, and the administrative management of the water rights processes by the management agencies. The user interface is a web application with a distinguished access control that enables specific functionalities to suit each type of user. Besides the basic features of data registration and data query, a simulation module was also provided in the web application, where it is possible to record all the relevant information to run the optimization routine and check the water allocation planning among users, encouraging community participation in decision making. As a demonstration, the system was applied to a hypothetical watershed. In the simulations, ten different crops compete for the available water of a river basin through direct catches over watercourses and reservoirs. In addition to validating the functionalities developed, it was also checked the potential use of the system in assessing the impacts of adjustments in water rights restrictions, inclusions of new crops, changes in working capacity of water harvesting and irrigation systems, adjustments of the available operation period and changes in the design of reservoirs.

**Keywords:** Water resource management. Collective water rights. Decision support systems. Optimization models. Linear programming. Family farming. Irrigation management. Irrigâmetro.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Vazão outorgada entre agosto de 2010 e julho de 2011 por finalidade de uso, no Brasil.....	56
Figura 3.2 – Sistema de irrigação por microaspersão (A) e por gotejamento (B).....	62
Figura 3.3 – Evaporímetro (direita) e pluviômetro (esquerda) .....	63
Figura 3.4 – Inserção da microbacia do Córrego Sossego na bacia hidrográfica do Rio Doce.....	68
Figura 3.5 – Mapa de localização das propriedades com irrigâmetro .....	69
Figura 3.6 – Pluviômetro (A) e evaporímetro (B) instalados na bacia do Córrego Sossego .....	70
Figura 3.7 – Esquema ilustrativo do conceito de “imobilização hídrica”, aplicando os critérios de outorga do estado do Espírito Santo.....	74
Figura 4.1 – Estratégia de ação para o desenvolvimento do sistema de apoio à decisão.....	89
Figura 4.2 – Representação de microbacia genérica e suas intervenções hídricas..	91
Figura 4.3 – Representação de microbacia simplificada com o escopo do trabalho .	92
Figura 4.4 – Cenário macro de aplicação do sistema de apoio à decisão com o escopo mínimo .....	93
Figura 4.5 – Principais requisitos funcionais do sistema de apoio à decisão .....	95
Figura 4.6 – Modularização do sistema de apoio à decisão, suas entradas e saídas.....	97
Figura 4.7 – Ciclo diário de operação do sistema de apoio à decisão pela comunidade.....	98

Figura 4.8 – Interface gráfica disponibilizada para tarefas administrativas do SGBDR Oracle® .....	104
Figura 4.9 – Ambiente para modelagem de dados da ferramenta Sybase® PowerDesigner .....	105
Figura 4.10 – Aplicação Oracle® SQL Developer utilizada para a manipulação da base de dados .....	106
Figura 4.11 – Tela da ferramenta Microsoft® Solver Foundation, de modelagem matemática .....	108
Figura 4.12 – Interface de gestão das aplicações <i>web</i> construídas em Microsoft® ASP.NET .....	109
Figura 4.13 – Tela da ferramenta Microsoft® Visual Web Developer, de desenvolvimento <i>web</i> . .....	110
Figura 4.14 – Arcos, reservatórios e culturas da microbacia de teste .....	111
Figura 5.1 – Reunião com especialistas em meteorologia no Incaper, em Vitória (esquerda) e reunião com especialistas em outorga e outorga coletiva no IEMA (direita).....	117
Figura 5.2 – Procedimento para utilização das restrições de agendas horárias pelo sistema .....	121
Figura 5.3 – Ciclo de operação do SAD definido após a fase de levantamento de requisitos .....	128
Figura 5.4 – Arquitetura cliente-servidor do sistema de apoio à decisão.....	150
Figura 5.5 – Diagrama de relacionamentos entre os grupos funcionais do banco de dados .....	154
Figura 5.6 – Diagrama de entidades e relacionamentos do módulo Gestão de Simulações .....	157

Figura 5.7 – Diagrama de entidades e relacionamentos do módulo Controle de Acesso .....	159
Figura 5.8 – Painel de modelagem dos conjuntos de dados ou índices da rotina de otimização .....	162
Figura 5.9 – Painel de modelagem dos dados de entrada da rotina de otimização (esquerda) e exemplos de tabelas com dados referenciados para simulações (direita) .....	165
Figura 5.10 – Painel de modelagem dos dados de saída da rotina de otimização (esquerda) e exemplo de tabela com dados gerados por simulações (direita) .....	167
Figura 5.11 – Painel de modelagem da meta da rotina de otimização .....	169
Figura 5.12 – Painel de modelagem das restrições da rotina de otimização .....	172
Figura 5.13 – Tela de entrada da aplicação <i>web</i> com os principais componentes da interface .....	173
Figura 5.14 – Tela para identificação do usuário (esquerda) e para criação de usuário (direita) .....	175
Figura 5.15 – Tela para troca de senha de acesso da conta de usuário .....	176
Figura 5.16 – Tela com formulário para cadastro de pessoas (superior) e funcionalidades integradas ao banco de dados para criar, atualizar ou cancelar (inferior) .....	178
Figura 5.17 – Tela com formulário para consulta de pessoas na base de dados ...	179
Figura 5.18 – Tela com formulário para cadastro de monitoramento de irrigômetros .....	180
Figura 5.19 – Tela de busca e visualização detalhada de monitoramentos de irrigômetros .....	181

Figura 5.20 – Tela para consulta do planejamento de operação e registro da operação praticada .....	182
Figura 5.21 – Tela de visualização do relatório com o planejamento de irrigação de culturas .....	186
Figura 5.22 – Tela de visualização do relatório de acompanhamento de intervenções .....	187
Figura 5.23 – Tela de visualização do relatório de acompanhamento de fluviômetros .....	188
Figura 5.24 – Tela de visualização do relatório de acompanhamento de reservatórios .....	189

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Valores do nível de água no evaporatório de acordo com as diferentes fases de desenvolvimento da cultura .....	64
Tabela 3.2 – Grau de sensibilidade ao déficit hídrico das culturas.....	66
Tabela 3.3 – Modelos de réguas de manejo do irrigâmetro .....	67
Tabela 3.4 – Modelos de réguas temporais do irrigâmetro .....	67
Tabela 3.5 – Composição granulométrica, classificação textural, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e densidade do solo das propriedades .....	71
Tabela 3.6 – Caracterização dos sistemas de irrigação de cada propriedade selecionada .....	71
Tabela 3.7 – Réguas de manejo e temporal das propriedades selecionadas .....	71
Tabela 4.1 – Reuniões realizadas com especialistas e órgãos parceiros do LabGest.....	96
Tabela 4.2 – Identificação, origem e destino das captações superficiais para os testes.....	112
Tabela 5.1 – Correspondência entre as cores das réguas de manejo (face 3) e milímetros do tubo de alimentação observada para as propriedades selecionadas .....	142
Tabela 5.2 – Prioridades atribuídas aos milímetros do tubo de alimentação da propriedade E.....	143
Tabela 5.3 – Comparação entre as prioridades atribuídas a uma seção do tubo de alimentação (10,7 mm a 13 mm) para as propriedades selecionadas .....	144

Tabela 5.4 – Dados de leitura dos irrigômetros nas propriedades selecionadas, para o dia 13 de outubro de 2012, e respectivos valores de prioridade e tempo de irrigação .....	146
Tabela 5.5 – Dados de leitura dos irrigômetros nas propriedades selecionadas, para o dia 24 de dezembro de 2012, e respectivos valores de prioridade e tempo de irrigação .....	148
Tabela 5.6 – Lâmina líquida de aplicação ajustada para as leituras de irrigômetro do dia 24 de dezembro de 2012, considerando 97% de probabilidade de chover 5 mm .....	149
Tabela 5.7 – Principais tipos de relacionamentos entre tabelas de um modelo de dados .....	152
Tabela 5.8 – Índices utilizados na formulação matemática e modelagem do problema.....	160
Tabela 5.9 – Dados de entrada utilizados na formulação matemática e modelagem do problema.....	162
Tabela 5.10 – Dados de saída utilizados na formulação matemática e modelagem do problema.....	166
Tabela 5.11 – Mapa de conteúdo dos <i>menus</i> da aplicação <i>web</i> .....	174
Tabela 5.12 – Informações relacionadas às culturas utilizadas nos cenários de simulação.....	191
Tabela 5.13 – Informações relacionadas à rede de drenagem utilizadas nos cenários de simulação.....	192
Tabela 5.14 – Informações de culturas consolidadas para cenário com previsão de precipitação .....	201

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a$  – índice do modelo de otimização desenvolvido que representa os arcos da hidrografia ou segmentos da rede de drenagem de uma região hidrográfica;

$A_k$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa o arco de origem da captação superficial  $k$ , com origem em arcos da hidrografia e destino para sistemas de irrigação;

$A_m$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa o arco de origem da captação superficial  $m$ , com origem em arcos da hidrografia e destino para reservatórios;

$b_i$  – parâmetros de um modelo de otimização genérico, sendo  $i$  um índice sequencial para identificação única das restrições ( $i = 1, 2, \dots, m$ );

$c$  – índice do modelo de otimização desenvolvido que representa as culturas irrigadas de uma região hidrográfica;

$CC$  – teor de umidade do solo em capacidade de campo, % em peso;

$c_{ij}$  – custo unitário, de um modelo de rede de fluxo genérico, associado à vazão média no arco  $(i, j)$ , segmento da hidrografia entre o nó  $i$  e o nó  $j$ , durante o intervalo de tempo;

$C_k$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa a cultura irrigada pela captação superficial  $k$ , com origem em arcos da hidrografia e destino para sistemas de irrigação;

$C_l$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa a cultura irrigada pela captação superficial  $l$ , com origem em reservatórios e destino para sistemas de irrigação;

$D_s$  – densidade do solo seco, em  $\text{g/cm}^3$ ;

$DTA$  – disponibilidade total de água no solo, em  $\text{mm/cm}$ ;

$E_a$  – eficiência de aplicação da irrigação, em %;

$E_L$  – espaçamento entre os emissores do sistema de irrigação do tipo microaspersor, em m;

$E_{LL}$  – espaçamento entre as linhas laterais de culturas irrigadas com sistema de irrigação do tipo microaspersor, em m;

$ET_0$  – evapotranspiração de referência para uma cultura;

$f$  – fator de disponibilidade de água no solo, que depende da cultura e da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), adimensional;

$f(X)$  – função objetivo de um modelo de otimização genérico;

$f(x_1, x_2)$  – função objetivo não linear separável por partes, com duas variáveis de decisão ( $x_1$  e  $x_2$ );

$f_1(x_1)$  – função de variável simples, resultado da separação por partes, da função objetivo original não linear separável por partes;

$f_2(x_2)$  – função de variável simples, resultado da separação por partes, da função objetivo original não linear separável por partes;

$f_M$  – fator, calculado por faixa de cor da régua de manejo, para incremento da prioridade associada aos milímetros do tubo de alimentação do irrigâmetro;

$g_i(X)$  – equações que representam as restrições de um modelo de otimização genérico, sendo  $i$  um índice sequencial para identificação única das restrições ( $i = 1, \dots, n$ );

$i$  – índice do modelo de otimização desenvolvido que representa os intervalos temporais ou degraus horários do planejamento de operação;

$linic$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa a leitura inicial do irrigâmetro com a quantidade de intervalos temporais a irrigar para a cultura  $c$ ;



$I_j$  – conjunto, de um modelo de rede de fluxo genérico, de todos os nós com arcos que terminam no nó  $j$ , de um modelo de rede de fluxo genérico;

$I_L$  – intensidade líquida de aplicação de água do sistema de irrigação, em mm/h;

IRN – irrigação real necessária para uma cultura, em mm;

ITN – irrigação total necessária para uma cultura, em mm;

$j$  – índice do modelo de otimização desenvolvido que representa os intervalos temporais ou degraus horários disponíveis para irrigação segundo as réguas temporais de irrigômetros;

$J_a$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa o arco da hidrografia à jusante do arco  $a$ ;

$k$  – índice do modelo de otimização desenvolvido que representa as captações superficiais com origem nos arcos da hidrografia e destino para sistemas de irrigação das culturas;

$l$  – índice do modelo de otimização desenvolvido que representa as captações superficiais com origem nos reservatórios e destino para sistemas de irrigação das culturas;

$L_{ij}$  – vazão mínima, de um modelo de rede de fluxo genérico, no arco  $(i, j)$ , segmento da hidrografia entre o nó  $i$  e nó  $j$ ;

$L_L$  – lâmina líquida apontada pelo tubo de alimentação do irrigômetro, em mm;

$m$  – índice do modelo de otimização desenvolvido que representa as captações superficiais com origem nos arcos da hidrografia e destino para reservatórios;

$M$  – quantidade total de milímetros do tubo de alimentação do irrigômetro associados a uma cor da régua de manejo;

$O_j$  – conjunto, de um modelo de rede de fluxo genérico, de todos os nós com arcos que se originam no nó  $j$ ;

$P_{kij}$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa a prioridade da demanda hídrica no intervalo temporal  $i$ , para atendimento ao intervalo temporal  $j$  da régua temporal de irrigâmetro, para a captação superficial  $k$  com origem em arcos da hidrografia e destino para sistemas de irrigação;

$P_{lij}$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa a prioridade da demanda hídrica no intervalo temporal  $i$ , para atendimento ao intervalo temporal  $j$  da régua temporal de irrigâmetro, para a captação superficial  $l$  com origem em reservatórios e destino para sistemas de irrigação;

$P_{mi}$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa a prioridade da demanda hídrica no intervalo temporal  $i$ , para a captação superficial  $m$  com origem em arcos da hidrografia e destino para reservatórios;

$PMP$  – teor de umidade do solo em ponto de murcha permanente, % em peso;

$Q_{7,10}$  – vazão mínima média de 7 dias de duração consecutivos, com período de retorno de 10 anos, em  $m^3/s$ ;

$Q_{90}$  – vazão com 90% de permanência no tempo, em  $m^3/s$ ;

$Q_{95}$  – vazão com 95% de permanência no tempo, em  $m^3/s$ ;

$q_{ai}$  – dado de saída do modelo de otimização desenvolvido que representa a soma das vazões de captação no arco da hidrografia  $a$ , no intervalo temporal  $i$ ;

$Q_{cap_k}$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa a vazão de operação da captação superficial  $k$ , com origem em arcos da hidrografia e destino para sistemas de irrigação;

$Q_{cap_l}$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa a vazão de operação da captação superficial  $l$ , com origem em reservatórios e destino para sistemas de irrigação;

$Q_{cap_m}$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa a vazão de operação da captação superficial  $m$ , com origem em arcos da hidrografia e destino para reservatórios;

$Q_{\text{CAPTAÇÃO}}$  – vazão captada no curso d'água por sistemas de captação;

$Q_{\text{DISPONÍVEL}}$  – vazão que está disponível para outorga na seção de intervenção e que, se captada, não implicará violação do percentual remanescente a jusante;

$q_{ij}$  – vazão média, de um modelo de rede de fluxo genérico, no arco (i, j), segmento da hidrografia entre o nó i e o nó j, durante um intervalo de tempo;

$Q_{\text{médio}}$  – vazão média dos emissores do sistema de irrigação do tipo microaspersor, em l/h;

$Q_{\text{out}_a}$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa a vazão outorgável no arco da hidrografia a;

$Q_{\text{OUTORGA}}$  – vazão outorgável no curso d'água, podendo ser calculada como: (1) percentual definido pelo órgão gestor, da vazão mínima de referência; ou, (2) diferença entre a vazão real e a vazão residual exigida pelo órgão gestor, vazão que excede à vazão residual no curso d'água em um dado instante;

$Q_{\text{REAL}}$  – vazão real medida no curso d'água em um dado instante;

$Q_{\text{RESIDUAL}}$  – vazão mínima exigida no curso d'água pelos órgãos gestores para atendimento de demandas a jusante;

$r$  – índice do modelo de otimização desenvolvido que representa os reservatórios de uma região hidrográfica;

$R_i$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa o reservatório de origem da captação superficial i, com origem em reservatórios e destino para sistemas de irrigação;

$R_m$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa o reservatório de destino da captação superficial m, com origem em arcos da hidrografia e destino para reservatórios;

$t$  – intervalo temporal necessário para aplicação de uma determinada lâmina líquida na cultura, baseado na intensidade líquida de aplicação do sistema de irrigação, em minutos;

$u_{ci}$  – dado de saída do modelo de otimização desenvolvido que representa a leitura final da régua temporal do irrigâmetro para a cultura  $c$ , no intervalo temporal  $i$ , convertida em quantidade de intervalos horários necessários de irrigação;

$U_{ij}$  – vazão máxima, de um modelo de rede de fluxo genérico, no arco  $(i, j)$ , segmento da hidrografia entre o nó  $i$  e nó  $j$ ;

$V_F$  – valor final da faixa numérica de prioridades especificada para cada cor de uma régua de manejo de irrigâmetro;

$V_I$  – valor inicial da faixa numérica de prioridades especificada para cada cor de uma régua de manejo de irrigâmetro;

$V_{ini_r}$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa o volume inicial do reservatório  $r$ ;

$V_{max_r}$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa o volume útil máximo do reservatório  $r$ ;

$V_{min_r}$  – dado de entrada do modelo de otimização desenvolvido que representa o volume útil mínimo do reservatório  $r$ ;

$v_{ri}$  – dado de saída do modelo de otimização desenvolvido que representa o volume adicionado ou reduzido ao reservatório  $r$ , no intervalo temporal  $i$ ;

$w_{ri}$  – dado de saída do modelo de otimização desenvolvido que representa o volume final do reservatório  $r$ , no intervalo temporal  $i$ ;

$X$  – vetor de variáveis de decisão de um modelo de otimização genérico;

$x_1$  – variável de decisão de uma função objetivo não linear separável por partes;

$x_2$  – variável de decisão de uma função objetivo não linear separável por partes;

$x_{kij}$  – dado de saída e variável de decisão do modelo de otimização desenvolvido que representa a ativação no intervalo temporal  $i$ , para atendimento ao intervalo temporal  $j$  da régua temporal de irrigâmetro, da captação superficial  $k$  com origem em arcos da hidrografia e destino para sistemas de irrigação;

$x_{lij}$  – dado de saída e variável de decisão do modelo de otimização desenvolvido que representa a ativação no intervalo temporal  $i$ , para atendimento ao intervalo temporal  $j$  da régua temporal de irrigâmetro, da captação superficial  $l$  com origem em reservatórios e destino para sistemas de irrigação;

$x_{mi}$  – dado de saída e variável de decisão do modelo de otimização desenvolvido que representa a ativação no intervalo temporal  $i$ , da captação superficial  $m$  com origem em arcos da hidrografia e destino para reservatórios;

$y_{ai}$  – dado de saída do modelo de otimização desenvolvido que representa a soma das vazões de captação no arco da hidrografia  $a$  e arcos à montante, no intervalo temporal  $i$ ;

$z$  – dado de saída e resultado da função objetivo do modelo de otimização desenvolvido que representa a soma das prioridades de todas as captações ativadas;

$Z$  – profundidade efetiva da raiz, profundidade de solo em que se concentram cerca de 80% das raízes, em cm.



## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AGERH – Agência Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo

AIMMS<sup>®</sup> – *Advanced Interactive Multidimensional Modeling System*

AML – *Algebraic Modeling Language*

AMPL<sup>®</sup> – *A Mathematical Programming Language*

ANA – Agência Nacional de Águas

API – *Application Programming Interface*

BD – Base de Dados ou Banco de Dados

CC – Capacidade de Campo do Solo

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CT-HIDRO – Fundo Setorial de Recursos Hídricos do Ministério da Ciência e Tecnologia

CUC – Coeficiente de Uniformidade de Christiansen de Aplicação da Água na Lavoura

CUD – Coeficiente de Uniformidade de Distribuição da Água na Lavoura

DTA – Disponibilidade Total de Água no Solo

ES – Estado do Espírito Santo

ET – Taxa de Evapotranspiração

Eletrobrás – Centrais Elétricas Brasileiras

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

Funasa – Fundação Nacional de Saúde

GAMS® – *General Algebraic Modeling System*

GIRH – Gestão Integrada de Recursos Hídricos

GLPK – *GNU Linear Programming Kit*

GRASP – *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*

GWP – *Global Water Partnership*

I-PLANTAR – Sistema *Web* para Planejamento em Tempo real do uso da Água em nível Regional

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDAF – Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo

IDE – *Integrated Development Environment*

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo

IRN – Irrigação Real Necessária para uma Cultura

ITN – Irrigação Total Necessária para uma Cultura

Incaper – Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

LabGest – Laboratório de Gestão de Recursos Hídricos e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal do Espírito Santo

LabSid – Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

MDE – Modelos Digitais de Elevação

MIN – Ministério da Integração Nacional



MP – Ministério Público

MPL<sup>®</sup> – *Mathematical Programming Language*

MRF – Modelo de Rede de Fluxo

OML – *Optimization Modeling Language*

OR-Tools – *Operations Research Tools*

PD – Programação Dinâmica

PEDEAG-ES – Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura Capixaba

PIB – Produto Interno Bruto

PL – Programação Linear

PMP – Ponto de Murcha Permanente do Solo

PNL – Programação Não Linear

PNLSP – Programação Não Linear Separável por Partes

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PP – Total de Precipitação

Ref-ET<sup>®</sup> – *Reference Evapotranspiration Calculator*

SAD – Sistemas de Apoio a Decisões

SEAG – Secretaria de Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca do Estado do Espírito Santo

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SESA – Secretaria de Saúde do Estado do Espírito Santo

SGBDR – Sistemas Gerenciadores de Bases de Dados Relacionais

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SISDA – Sistema de Suporte à Decisão Agrícola

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

SRTM – *Shuttle Radar Topography Mission*

SSD – Sistemas de Suporte a Decisões

TAC – Termo de Ajustamento de Conduta

UFES – Universidade Federal do Espírito Santo

UFV – Universidade Federal de Viçosa

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>41</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>45</b>
2.1	OBJETIVO GERAL	45
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	45
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>47</b>
3.1	GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS	47
3.1.1	Política Nacional de Recursos Hídricos	48
3.1.2	Cogestão Adaptativa	49
3.2	OUTORGA DOS DIREITOS DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS	52
3.2.1	Outorga Coletiva	53
3.2.2	Vazões de Referência	54
3.3	AGRICULTURA IRRIGADA	56
3.3.1	Clima	57
3.3.2	Solo	58
3.3.3	Manejo de Irrigação	60
3.3.4	Irrigâmetro	63
3.3.4.1	Configuração do Aparelho	66
3.3.4.2	Utilização Prática na Bacia do Córrego Sossego	68
3.4	SISTEMA DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS	72
3.4.1	Sistemas de Informações Geográficas	73
3.4.2	Sistemas de Apoio à Decisão	75
3.4.3	Modelos de Simulação	77
3.4.4	Modelos de Otimização	78
3.4.4.1	Programação Linear	79
3.4.4.2	Programação Dinâmica	80
3.4.4.3	Programação Não Linear	81
3.4.4.4	Programação Não Linear Separável por Partes	81
3.4.5	Modelos de Rede de Fluxo	82
3.4.6	Pacotes Computacionais de Modelagem Matemática	84

<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>89</b>
4.1	CONCEPÇÃO E DESENHO DO SISTEMA.....	90
4.1.1	Definição de Escopo.....	90
4.1.2	Levantamento de Requisitos .....	95
4.1.3	Mapeamento de Informações.....	99
4.2	INTEGRAÇÃO ENTRE SAD E IRRIGÂMETROS .....	101
4.2.1	Geração de Dados do Manejo pelo Irrigâmetro.....	101
4.2.2	Atribuição de Prioridade às Demandas Hídricas .....	102
4.2.3	Influência da Precipitação nas Prioridades .....	103
4.3	DESENVOLVIMENTO DO SAD.....	103
4.3.1	Modelagem e Construção da Base de Dados.....	104
4.3.2	Modelagem e Construção da Rotina de Otimização .....	107
4.3.3	Modelagem e Construção do Sistema <i>Web</i> .....	108
4.4	AVALIAÇÃO DO SAD .....	110
4.4.1	Definição dos Cenários de Testes.....	111
4.4.2	Avaliação do Processo de Alocação de Água.....	113
4.4.3	Avaliação das Funcionalidades na <i>Web</i> .....	114
4.5	DIRETRIZES PARA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA .....	114
4.5.1	Discussões com Especialistas .....	115
4.5.2	Proposição de Diretrizes .....	115
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>117</b>
5.1	CONCEPÇÃO E DESENHO DO SISTEMA.....	117
5.1.1	Levantamento de Requisitos .....	117
5.1.1.1	Oficinas com Especialistas .....	117
5.1.1.2	Requisitos Funcionais.....	123
5.1.1.3	Requisitos Operacionais .....	124
5.1.2	Mapeamento de Informações.....	129
5.1.2.1	Cadastro de Pessoas.....	129
5.1.2.2	Cadastro de Empreendimentos .....	130
5.1.2.3	Organização da Área de Drenagem .....	130
5.1.2.4	Organização Territorial .....	131
5.1.2.5	Gestão de Outorgas .....	132
5.1.2.6	Cadastro de Atividades de Uso da Água .....	133

5.1.2.7	Cadastro de Irrigômetros.....	133
5.1.2.8	Cadastro de Atividades de Irrigação .....	134
5.1.2.9	Manejo de Irrigação.....	135
5.1.2.10	Gestão Hidrológica.....	136
5.1.2.11	Gestão Meteorológica .....	137
5.1.2.12	Cadastro de Intervenções Hídricas .....	138
5.1.2.13	Gestão de Simulações .....	139
5.1.2.14	Controle de Acesso .....	140
5.2	INTEGRAÇÃO ENTRE SAD E IRRIGÂMETROS .....	140
5.2.1	<b>Atribuição de Prioridade às Demandas Hídricas.....</b>	<b>141</b>
5.2.2	<b>Influência da Precipitação nas Prioridades .....</b>	<b>147</b>
5.3	DESENVOLVIMENTO DO SAD .....	149
5.3.1	<b>Modelagem e Construção da Base de Dados .....</b>	<b>151</b>
5.3.1.1	Relacionamentos entre os Grupos Funcionais.....	154
5.3.1.2	Gestão de Simulações .....	157
5.3.1.3	Controle de Acesso .....	158
5.3.2	<b>Modelagem e Construção da Rotina de Otimização .....</b>	<b>159</b>
5.3.2.1	Índices e Conjuntos de Dados.....	160
5.3.2.2	Dados de Entrada (Parâmetros, Constantes e Coeficientes) .....	162
5.3.2.3	Dados de Saída (Variáveis, Decisões e Resultados) .....	165
5.3.2.4	Meta ou Função Objetivo .....	167
5.3.2.5	Restrições e Expressões sobre Decisões e Variáveis .....	169
5.3.3	<b>Modelagem e Construção do Sistema Web .....</b>	<b>172</b>
5.3.3.1	Módulo de Controle de Acesso .....	174
5.3.3.2	Módulo de Consulta .....	176
5.3.3.3	Módulo de Operação.....	179
5.3.3.4	Módulo de Simulação .....	183
5.3.3.5	Módulo de Relatórios .....	185
5.4	AVALIAÇÃO DO SAD.....	189
5.4.1	<b>Avaliação do Processo de Alocação de Água .....</b>	<b>190</b>
5.4.1.1	Cenário 1 – Reservatórios Vazios .....	193
5.4.1.2	Cenário 2 – Reservatórios Cheios.....	195
5.4.1.3	Cenário 3 – Reservatórios Parcialmente Carregados .....	197
5.4.2	<b>Avaliação das Funcionalidades na Web.....</b>	<b>199</b>

5.5 DIRETRIZES PARA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA .....	203
<b>5.5.1 Discussões com Especialistas .....</b>	<b>203</b>
<b>5.5.2 Proposição de Diretrizes .....</b>	<b>206</b>
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>213</b>
6.1 CONCLUSÕES.....	213
6.2 RECOMENDAÇÕES.....	216
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>219</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>229</b>
APÊNDICE A – Dados de Operação do Irrigâmetro na Propriedade A .....	231
APÊNDICE B – Dados de Operação do Irrigâmetro na Propriedade B .....	232
APÊNDICE C – Dados de Operação do Irrigâmetro na Propriedade C .....	233
APÊNDICE D – Dados de Operação do Irrigâmetro na Propriedade D .....	234
APÊNDICE E – Dados de Operação do Irrigâmetro na Propriedade E .....	235
APÊNDICE F – Análise de Especialistas em Outorga e Outorga Coletiva .....	236
APÊNDICE G – Análise de Especialistas em Manejo de Irrigação .....	240
APÊNDICE H – Análise de Especialistas em Meteorologia .....	243
APÊNDICE I – Análise de Especialistas com Atuação Local .....	246
APÊNDICE J – Modelo de Dados do Módulo Cadastro de Pessoas .....	249
APÊNDICE K – Modelo de Dados do Módulo Cadastro de Empreendimentos ..	250
APÊNDICE L – Modelo de Dados do Módulo Organização da Área de Drenagem .....	252
APÊNDICE M – Modelo de Dados do Módulo Organização Territorial .....	253
APÊNDICE N – Modelo de Dados do Módulo Gestão de Outorgas .....	254
APÊNDICE O – Modelo de Dados do Módulo Cadastro de Atividades de Uso da Água.....	256
APÊNDICE P – Modelo de Dados do Módulo Cadastro de Irrigâmetros .....	257
APÊNDICE Q – Modelo de Dados do Módulo Cadastro de Atividades de Irrigação .....	259
APÊNDICE R – Modelo de Dados do Módulo Manejo de Irrigação .....	260
APÊNDICE S – Modelo de Dados do Módulo Gestão Hidrológica .....	261
APÊNDICE T – Modelo de Dados do Módulo Gestão Meteorológica .....	263

APÊNDICE U – Modelo de Dados do Módulo Cadastro de Intervenções Hídricas .....	264
APÊNDICE V – Código Fonte da Rotina de Otimização .....	266
APÊNDICE W – Resultados Sumarizados da Simulação do Cenário 1 .....	269
APÊNDICE X – Resultados Sumarizados da Simulação do Cenário 2 .....	270
APÊNDICE Y – Resultados Sumarizados da Simulação do Cenário 3 .....	271
APÊNDICE Z – Relatório de Atividades Gerado por Simulação .....	272
APÊNDICE AA – Relatório de Fluviômetros Gerado por Simulação .....	273
APÊNDICE AB – Relatório de Reservatórios Gerado por Simulação .....	274
APÊNDICE AC – Relatório de Intervenções Gerado por Simulação .....	275
APÊNDICE AD – Fluxograma de Implantação do SAD .....	276
APÊNDICE AE – Fluxograma de Operação do SAD .....	277
<b>ANEXOS .....</b>	<b>279</b>
ANEXO A – Formulário de Cadastro de Usuários para Fins de Outorga Coletiva Utilizado pelo IEMA .....	281





## 1 INTRODUÇÃO

O aumento das pressões antrópicas, como o crescimento populacional, a dinâmica econômica e a intensificação da agricultura e da industrialização, aliados a condicionantes naturais, como a dinâmica espacial e temporal da disponibilidade hídrica, provocam a atual situação mundial onde duas em cada dez pessoas não têm acesso à água potável (FAO, 2007). As previsões para os próximos anos são ainda piores. De acordo com o relatório das Nações Unidas “*Water for people, water for life*” estima-se que cerca de dois terços da população mundial poderão estar vivendo em condições de escassez hídrica até 2025 (GWP, 2000).

Com a crescente demanda pela água, aumentam também os conflitos entre usuários em diversas bacias hidrográficas do Brasil, exigindo maior eficiência na proteção e administração de modo a garantir a sustentabilidade do recurso às gerações futuras (PNUD, 2006). A agricultura é de grande importância no desenvolvimento socioeconômico de regiões, principalmente pela necessidade da produção de alimentos para atender a uma população crescente e para a redução da fome em alguns países (FAO, 2008). E, por concentrar a maior demanda por água doce no mundo, o setor agrícola muitas vezes está inserido nos conflitos pela água.

Como forma de resolver o problema, a busca pelo uso racional da água na agricultura irrigada com foco apenas na adoção de equipamentos mais eficientes e infraestruturas de reservação hídrica, pode estar excluindo e comprometendo grupos mais fragilizados (ex.: camponeses, agricultura familiar, etc.), principalmente pelas limitações financeiras e de capacitação geralmente associadas a estes (LOPES, 2011). Em seu trabalho, Lopes (2011, p. 272) recomenda, na área de gestão de águas agrícolas, a realização de estudos que busquem ferramentas e mecanismos de distribuição dos recursos em microbacias, incluindo regras de gestão acordadas localmente e técnicas de irrigação e de alocação de água apropriadas à região.

Além de considerar a água como um bem de domínio público e adotar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), norteadora da gestão de recursos hídricos no país, aponta que o gerenciamento deve ser descentralizado e contar com a participação conjunta do

Poder Público, usuários e sociedade. Dentre seus objetivos também enfatiza a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável, através do uso de seus instrumentos legais (BRASIL, 1997).

Entre os instrumentos da PNRH, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e o sistema de informações sobre recursos hídricos têm grande potencial de integração, podendo apoiar o planejamento e a gestão do uso da água pelos órgãos gestores (MARQUES, 2010). A outorga visa assegurar o controle quantitativo e qualitativo das águas, bem como o efetivo exercício dos direitos de acesso aos usuários da água. Já o sistema de informações tem por objetivos: (1) armazenar e divulgar informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos; e (2) atualizar permanentemente as informações sobre disponibilidade e demanda (BRASIL, 1997).

A alocação negociada da água, também chamada de outorga coletiva, pode ser considerada como uma recente evolução do instrumento outorga. Esta modalidade aperfeiçoada de outorga trata-se de uma autorização concedida a um conjunto de usuários, elaborado a partir de um único processo, que organiza as captações e estabelece regras claras para o uso da água, definidas com forte participação dos próprios interessados (LORENTZ e MENDES, 2010). A outorga coletiva vem sendo comumente utilizada em microbacias onde o conflito pelo uso da água já está decretado. Neste contexto, a quantidade de processos de outorga a serem analisados e acompanhados pelos órgãos gestores diminui e os usuários da água passam a ser os principais decisores para a distribuição dos recursos outorgados.

Para que os usuários de uma outorga coletiva possam distribuir a água outorgada de forma justa e consensual é necessário, primeiramente, conhecer a demanda hídrica de cada produtor. A Universidade Federal de Viçosa (UFV) desenvolveu, recentemente, uma ferramenta de auxílio ao manejo da irrigação chamada Irrigâmetro. Em função do baixo custo do equipamento e de sua facilidade de uso, o manejo de irrigação torna-se amplamente acessível ao produtor rural, especialmente o de base familiar, sem conhecimento especializado em irrigação (OLIVEIRA e RAMOS, 2008). Depois de ajustada à propriedade agrícola e à cultura, o irrigâmetro oferece a informação direta de quando e quanto irrigar, as duas questões básicas

sobre o manejo de irrigação que também podem ser traduzidas como a demanda hídrica do produtor num dado momento.

Devido à complexidade da gestão de recursos hídricos, o uso de ferramentas de modelagem computacional também se torna fundamental, principalmente no auxílio à tomada de decisões e na tentativa de conciliar interesses conflitantes. Os sistemas de apoio a decisões podem auxiliar na compreensão do comportamento dos sistemas de recursos hídricos, tornando possível analisar um número maior de alternativas, conhecer melhor os problemas e suas possíveis soluções e avaliar de modo mais preciso as consequências das decisões (BRIGAGÃO, 2006).

Diversas pesquisas têm sido realizadas com o irrigâmetro e outras ferramentas de manejo de irrigação em nível de propriedade rural. A literatura também relata pesquisas sobre sistemas de apoio à decisão para gestão de recursos hídricos que permitem suportar os órgãos gestores nas avaliações dos processos de outorgas, apoiar a decisão sobre o planejamento de irrigação em propriedades e auxiliar a escolha entre variados projetos de uso da água. Entretanto, ainda existe a demanda por contribuições científicas para o tema cogestão e autogestão de microbacias, mais especificamente na integração e aperfeiçoamento de instrumentos de gestão e manejo agrícola que viabilizem a gestão local e participativa, auxiliando na alocação justa da água entre pequenos produtores rurais de base agrícola familiar.

A regulação do uso da água outorgada, de forma justa e consensual, entre pequenos produtores rurais de base agrícola familiar, em uma microbacia com conflitos devido à escassez hídrica, é o grande problema que motivou a realização desta pesquisa. Um problema de gestão de recursos hídricos, em nível local, intensificado pela carência de instrumentos e ferramentas especializadas que promovam a participação e a colaboração dos atores na definição de regras e ações que minimizem os conflitos pela água e garantam o desempenho da produção agrícola na região, com foco no desenvolvimento sustentável. Visando contribuir para a minimização deste problema, foram definidos os objetivos do presente trabalho, que são apresentados no capítulo a seguir.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Contribuir para o aperfeiçoamento da autogestão comunitária de recursos hídricos por microbacia, através do uso coordenado e integrado de irrigâmetros e de um sistema de apoio à decisão para alocação de água de forma justa, participativa e consensual entre os usuários, pequenos produtores rurais de base agrícola familiar.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Objetivo Específico I:** definir as bases conceituais e os requisitos informacionais e operacionais para a alocação negociada de água entre os produtores, como forma de subsidiar a aplicação e integração do instrumento outorga coletiva aliado a um sistema de apoio à decisão.
- **Objetivo Específico II:** definir procedimento para priorização de atendimento às demandas hídricas, partindo das informações coletadas nos irrigâmetros, como forma de subsidiar o manejo de irrigação por microbacia aliado a um sistema de apoio à decisão.
- **Objetivo Específico III:** desenvolver sistema de apoio à decisão para auxiliar os usuários da água sobre a alocação diária de água para irrigação.
- **Objetivo Específico IV:** avaliar o sistema computacional desenvolvido e o seu potencial de aplicação integrado aos irrigâmetros.
- **Objetivo Específico V:** propor diretrizes para a utilização prática da versão aperfeiçoada do sistema de apoio à decisão, integrado aos irrigâmetros.



### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Partindo dos conceitos de sustentabilidade e de sua relação direta com a gestão integrada das águas, será abordada como a participação do público nas tomadas de decisão, o manejo racional de recursos e a utilização de tecnologias vêm sendo incentivados na gestão de recursos hídricos. Nesta revisão bibliográfica, também serão discutidos os fundamentos, objetivos e instrumentos da PNRH, como a gestão descentralizada e participativa, a adoção da bacia hidrográfica como unidade de gestão, o uso racional e integrado dos recursos hídricos, a outorga e o sistema de informações. Atenção especial é dada aos temas Agricultura Irrigada, Outorga dos Direitos de Uso de Recursos Hídricos e Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos, em função do forte envolvimento com o produto final deste trabalho.

A outorga coletiva, procedimento participativo para a resolução de conflitos pelo uso da água, normalmente concedida a grupos de produtores rurais, é apresentada como um aperfeiçoamento do instrumento outorga. É abordado o histórico de implementação do procedimento, exemplos de aplicação e as regras comumente utilizadas para determinação da vazão outorgável.

É discutido o uso racional da água na agricultura, dando ênfase ao manejo de irrigação com o apoio de irrigâmetros. São contextualizadas as diversas variáveis e os parâmetros utilizados na configuração e na operação dos aparelhos.

Finalmente, é apresentada a evolução dos sistemas de informação sobre recursos hídricos, com a utilização de bases de dados geográficas e interfaces *web*. Também são analisadas as metodologias empregadas no desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão, os chamados modelos de simulação e otimização, incluindo os modelos de rede de fluxo.

#### 3.1 GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS

Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) é um processo que promove o desenvolvimento coordenado e o gerenciamento da água, solo e recursos relativos à

água, segundo a maximização de resultados econômicos e bem estar social em um modo equitativo sem comprometer a sustentabilidade de ecossistemas vitais e tendo como limite a bacia hidrográfica. Neste sentido, a alocação de água e gestão das decisões relativas à água consideram os efeitos de cada uso nos demais, de forma integrada (GWP, 2009, p. 18). A incorporação da participação nas tomadas de decisões é item relevante para uma plena gestão integrada. Diferentes atores, como agricultores, comunidades e ambientalistas, devem influenciar nas estratégias de desenvolvimento e gerenciamento de recursos hídricos (CAP-NET, 2008).

Lankford e Hepworth (2010) afirmam que embora a GIRH tenha sido aceita internacionalmente, ela ainda requer revisões e sugere a utilização da microbacia (nível local) como ponto de partida para a sua aplicação. As dificuldades e complexidades da gestão integrada para o nível local são menores, permitindo o foco em problemas específicos de cada comunidade, evitando conflitos e garantindo a participação e o comprometimento dos usuários nas decisões.

### **3.1.1 Política Nacional de Recursos Hídricos**

O Brasil deu um grande passo em direção à gestão integrada de recursos hídricos com a Lei das Águas, Lei nº 9.433, de oito de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Esta Lei tem como fundamentos: (1) a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; (2) a consideração dos múltiplos usos da água; (3) o reconhecimento da água como um bem de domínio público, finito, vulnerável e dotado de valor econômico; e (4) a necessidade da gestão descentralizada e participativa deste recurso contando com a participação do Poder Público, dos usuários e da sociedade (BRASIL, 1997).

Dentre seus objetivos, a PNRH visa promover o desenvolvimento sustentável regional através da utilização de cinco instrumentos legais, estabelecidos por esta política, para a gestão dos recursos hídricos: (1) o plano de bacia; (2) o enquadramento dos corpos d'água; (3) a outorga dos direitos de uso; (4) a cobrança pelo uso; e (5) o sistema de informações (BRASIL, 1997). Sobre o planejamento de



recursos, no Artigo 7º, inciso III, a PNRH ressalta como objetivo básico o balanço entre disponibilidades e demandas dos recursos, em quantidade e qualidade, com a identificação de conflitos potenciais.

Os fundamentos dessa política e os instrumentos por ela estabelecidos constituem um grande desafio de conhecimentos, além do desafio político, econômico, social, ambiental e cultural intrínsecos. A Agência Nacional de Águas (ANA), por meio da Superintendência de Tecnologia e Capacitação, afirma que a implementação da política requer grande embasamento científico e tecnológico em relação aos recursos hídricos, e completa que a demanda na área do desenvolvimento científico e tecnológico no setor é tão grande, que estas atividades podem ser consideradas um instrumento adicional de gestão (ANA, 2009).

Nos últimos dezessete anos, foram presenciados grandes avanços em direção à gestão integrada: (1) o estabelecimento dos Comitês de Bacias; (2) a criação, no âmbito do Ministério da Ciência e Tecnologia, do Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CT-HIDRO), que incentiva maior formação de pesquisadores e pesquisas no setor; e (3) o significativo aumento da percepção, por parte da sociedade, da necessidade de gestão da água (TUCCI, 2006). Mas muitos obstáculos ainda permanecem e crescentes conflitos ainda ocorrem por imprevisão, planejamento inadequado e falta de colaboração entre os atores, reflexos da ausência de ferramentas compartilhadas para avaliação e monitoramento da situação dos recursos hídricos com informações confiáveis. Estes desafios estão fortemente associados a dois dos principais instrumentos das políticas nacional e estaduais: (1) a outorga dos direitos de uso; e (2) o sistema de informações sobre recursos hídricos (MARQUES, 2010).

### **3.1.2 Cogestão Adaptativa**

Na gestão dos recursos hídricos, os conflitos de interesses são frequentes devido à variedade de exigências de qualidade e quantidade de água e do número de interessados, os quais são afetados de formas diferentes por decisões relativas à utilização dos recursos. Ao ignorar as diferenças naturais entre os envolvidos na

gestão dos recursos hídricos e, conseqüentemente, a não resolução dos conflitos emergentes, decisões insustentáveis são implementadas (GIORDANO *et al.*, 2007).

Diversos estudos recentes como Lopes (2011), Butterworth *et al.* (2010), Lankford e Hepworth (2010) e Lankford *et al.* (2007, *apud* LOPES, 2011) sugerem que a gestão de recursos hídricos deve ser inicialmente implementada em nível local, de microbacia, e que devem ser estimuladas, neste ambiente, contínuas relações interativas entre os atores. Estes autores buscam metodologias, processos e ferramentas que promovam a colaboração para que as próprias pessoas envolvidas solucionem seus conflitos, construindo relações e prevenindo futuras disputas, ou seja, garantindo a resolução dos problemas de forma sustentável.

Os usuários da água não podem esperar que toda a bacia hidrográfica se organize e se desenvolva de forma efetiva para que finalmente possa penetrar em nível local. Em função disso, muitas das tomadas de decisões do dia a dia, no desenvolvimento de água e gerenciamento dos problemas, ficarão nas mãos de usuários e comunidades (BUTTERWORTH *et al.*, 2010, p. 71).

Neste contexto, são apresentados os conceitos da cogestão adaptativa. Segundo Ruitenbeek e Cartier (2001, *apud* ARMITAGE *et al.*, 2008, p. 87), é uma nova estrutura de gestão que estimula as partes interessadas a dividir responsabilidades dentro de um sistema de recursos naturais e permite, em longo prazo, o aprendizado com as ações tomadas. De forma semelhante, Olsson *et al.* (2004, *apud* ARMITAGE *et al.*, 2008, p. 87), define a cogestão auto adaptativa como um sistema flexível de gestão de recursos naturais de base comunitária, adaptado para regiões e situações específicas, e apoiado por várias organizações em diferentes escalas.

De acordo com Coordination SUD (2012), a maior parte dos problemas encontrados nos sistemas de irrigação pode ser resolvida no nível local, sem a intervenção de organizações governamentais. As soluções para os problemas surgem dos pontos fortes de instituições locais e do conhecimento local. Apesar disso, o acesso a instituições de níveis mais elevados pode ser útil no caso de conflitos que vão além dos órgãos locais. Estes conflitos terão maior chance de serem resolvidos de forma rápida e eficaz se os órgãos de gestão locais já estiverem estabelecidos.

No Brasil, Poloni (2010) destaca algumas experiências de cogestão e autogestão local em subsídio à gestão formal, implementados a partir da década de 80 nos estados do Paraná e Santa Catarina, nos anos 90 em São Paulo, e no Rio de Janeiro em 2006. Esses programas definiram a microbacia hidrográfica como unidade de planejamento, intervenção e avaliação, estabelecendo um novo marco na abordagem das questões socioambientais para o meio rural. No estado do Espírito Santo, o Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura Capixaba, PEDEAG-ES 2007-2025, também adota a microbacia como unidade de planejamento e intervenção, já que corresponde a um sistema biofísico e socioeconômico integrado com as condições adequadas para o devido planejamento e gestão do uso da terra (ESPIRITO SANTO, 2008).

Também no estado do Espírito Santo, experiência pioneira denominada Projeto Sossego, na bacia do Córrego Sossego, município de Itarana, vem sendo desenvolvida desde 2002, com a adoção da região para fins de desenvolvimento de estudos científicos e tecnológicos de gestão integrada de recursos hídricos com foco no desenvolvimento sustentável local (LABGEST, 2010; POLONI, 2010; QUARENTEI, 2010). Os trabalhos têm sido realizados através de parceria entre a Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), a comunidade local e instituições públicas que atuam na localidade, entre elas: (1) a Fundação Nacional de Saúde (Funasa); (2) o Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper); (3) o Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (SEBRAE); (4) a Secretaria de Saúde do Estado do Espírito Santo (SESA); (5) a Secretaria de Agricultura, Abastecimento, Aquicultura e Pesca do Estado do Espírito Santo (SEAG); (6) as Secretarias de Saúde, Educação e Agricultura do Município de Itarana, ES; (7) o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA); (8) o Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF); e (9) o Ministério Público e Poder Judiciário Estadual. A abordagem construtivista e participativa adotada na bacia vem permitindo que a comunidade esteja efetivamente envolvida no desenvolvimento das atividades no âmbito do projeto.

De acordo com Lopes (2011), uma recente contribuição do Projeto Sossego é possibilitar uma análise comparativa entre a construção do modelo de gestão local de águas no nível de microbacia com a aplicação de Termos de Ajustamento de

Conduta (TAC) em várias bacias hidrográficas do estado do Espírito Santo em decorrência de conflitos observados pelo uso da água, principalmente pela intensificação da irrigação.

### 3.2 OUTORGA DOS DIREITOS DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS

A outorga é o ato administrativo pelo qual a autoridade outorgante concede ao outorgado o direito de uso do recurso hídrico, por prazo determinado e de acordo com os termos e as condições expressas no ato.

Deve ser destacado que a água é um bem inalienável e por isso a outorga não representa um contrato de venda; porém, tem o papel de separar das águas genericamente consideradas como bem de uso comum a parcela outorgada, conferindo prioridade ao outorgado, passível de suspensão nos casos previstos no artigo 15 da Lei nº 9.433/1997 (MARQUES, 2010).

Além de dar condições aos órgãos gestores de acompanharem e realizarem o controle qualitativo e quantitativo da água para os múltiplos usos, o instrumento é importante por minimizar os conflitos entre os diversos setores usuários e evitar impactos ambientais negativos aos corpos hídricos (ANA, 2011).

Para que os órgãos gestores possam analisar os pleitos de outorga com segurança, é necessário ter conhecimento da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica, sistematizar o processamento das informações referentes aos usos múltiplos e avaliar os impactos gerados a partir das intervenções hídricas com base nas demandas existentes em toda a bacia hidrográfica (a montante e a jusante do aproveitamento). São consideradas como intervenções ou interferências hídricas, as captações superficiais em curso d'água ou em reservatórios, captações subterrâneas, lançamentos de efluentes, barragens, hidrelétricas e outras estruturas ou obras hidráulicas que alteram o fluxo natural da água numa região hidrográfica.

### 3.2.1 Outorga Coletiva

A outorga coletiva é um procedimento participativo para a resolução de conflitos pelo uso da água, um instrumento de gestão alternativo que pode ser aplicado para organizar os diversos usos da água em determinado reservatório, trecho de rio ou microbacia hidrográfica. Também é conhecido como processo único de outorga, outorga negociada ou alocação negociada da água. Ela é concedida a grupos de produtores rurais ao invés de outorgas individuais, particularmente, em situações críticas de escassez.

Ainda que a outorga coletiva não tenha sido acolhida como instrumento de gestão de recursos hídricos na PNRH, na prática tem se tornado um deles. Sua primeira aplicação no país ocorreu na década de 1990, no estado do Ceará, pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, em parceria com a Secretaria de Recursos Hídricos do Estado e o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (SILVA, 2006). Naquela época, a alocação negociada era desenvolvida em reservatórios destinados, principalmente, ao abastecimento humano, à dessedentação animal e à irrigação. Posteriormente, sua aplicação evoluiu para as bacias do estado, caso do Jaguaribe e do Banabuiú. Outros processos de alocação negociada vêm sendo implementados com bons resultados em diversas regiões do país, a citar os estados da Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais e trechos do Rio Piranhas-Açu, entre os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte (LORENTZ e MENDES, 2010).

No estado do Espírito Santo, a instrução normativa do IEMA nº 007/2007 estabelece situações em que pode ser formalizado o processo de outorga único, contemplando mais de um uso ou interferência em recursos hídricos. Dentre as situações possíveis, estão os usos e interferências localizadas dentro de uma região de conflito pelo uso da água, assim declarada pelo IEMA, mediante requerimento (IEMA, 2007). O estado de Minas Gerais, recentemente, levantou em seu plano estadual de recursos hídricos a necessidade de disciplinar a outorga coletiva em lei e tem dado andamento ao projeto de lei nº 2.955/2012 (MINAS GERAIS, 2012).

Os TAC também têm se tornado uma ferramenta importante como forma de minimizar os problemas de gestão e garantir o emprego da outorga coletiva. A

celebração do TAC é resultado de uma série de atividades que se inicia com o acionamento do Ministério Público (MP) por usuários de água em decorrência de conflitos. A partir disso, o MP entra em contato com os órgãos relacionados à questão para definição das diretrizes a serem incluídas no TAC (LOPES, 2011). Dentre as principais diretrizes, os TAC têm definido: (1) restrições quanto ao uso da água na irrigação (rodízio); (2) proibição quanto à abertura de “poços escavados”; (3) exigência do cadastramento dos usuários para concessão de outorgas coletivas; e (4) exigência para definição de áreas para barragens e reflorestamento.

Lorentz e Mendes (2010) detalham todas as etapas que integram o processo de alocação negociada de água, incluindo o uso de técnicas computacionais de apoio à decisão e o forte envolvimento dos usuários da água e demais interessados, que são chamados a conhecer o problema, a definir as regras de alocação, a negociar e a tomar decisões. Também se pode observar que o processo de alocação negociada não envolve altos custos financeiros e de recursos humanos, podendo ser desenvolvido por órgãos direcionados para a gestão das águas com uma estrutura mínima e que sejam capazes de mobilizar os usuários envolvidos.

Por fim, a outorga coletiva tem induzido a uma maior utilização dos instrumentos outorga e sistema de informações em sua implementação, contribuindo para o avanço da Política Nacional de Recursos Hídricos. Além disso, confere maior agilidade na gestão das águas, reduzindo a quantidade de processos de outorga a serem analisados e acompanhados pelos órgãos gestores e permitindo que os usuários da água sejam os principais responsáveis pela alocação dos recursos. Os ganhos poderão ser consideravelmente ampliados no caso de se negociar, de maneira integrada, todas as condicionantes ambientais e sociais (MIN, 2010).

### **3.2.2 Vazões de Referência**

A vazão de referência comumente utilizada nos processos de outorga é a vazão mínima que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial. Desta forma, todos os usuários, ou os prioritários, têm melhores condições de manter em operação os usos outorgados mesmo em situações de estiagem (LEMOS, 2006). De

um modo geral, os órgãos gestores têm adotado a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ( $Q_{7,10}$ ) ou a vazão associada às permanências de 90% ( $Q_{90}$ ) ou 95% ( $Q_{95}$ ), sendo disponibilizado para a outorga apenas um percentual destas vazões mínimas de referência (CRUZ, 2001).

O que se observa é que estes valores podem se tornar restritivos em bacias e períodos do ano onde há maior demanda de água, ou muitas vezes serem insuficientes para a manutenção do meio biótico. Estudos realizados por Catalunha (2004), Lemos (2006), Silva *et al.* (2009) e Marques *et al.* (2009) buscando avaliar a sazonalidade nas vazões de referência, revelaram que a utilização de períodos trimestrais ou mensais para a determinação das vazões mínimas de referência apresenta-se mais adequada ao processo de outorga quando comparada com as vazões obtidas para o período anual, proporcionando considerável aumento na disponibilidade hídrica e flexibilizando o processo de outorga, principalmente nos períodos mais chuvosos, quando vazões superiores poderiam ser outorgadas em vista da maior oferta de água.

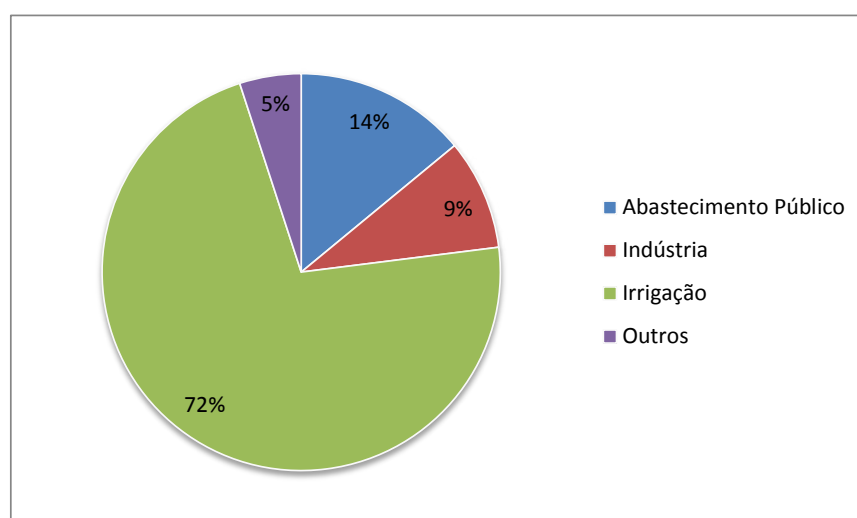
Ainda assim, a pequena rede hidro meteorológica nacional e as limitadas séries de dados fluviométricos disponíveis dificultam e, muitas vezes, impedem estimativas confiáveis das vazões de referência e a realização de uma adequada gestão de recursos hídricos. Tucci (2002) afirma que uma rede hidrométrica dificilmente cobrirá todos os locais de interesse necessários ao gerenciamento dos recursos hídricos de uma região, de forma que sempre existirão lacunas temporais e espaciais que necessitarão ser preenchidas com base em metodologias que busquem uma melhor estimativa dos dados de interesse em seções que não possuem medições. A regionalização hidrológica busca, através de metodologias específicas, extrapolar as informações fluviométricas existentes, por semelhanças das dinâmicas ambientais para os locais que possuem dados insuficientes ou inexistentes (RIBEIRO *et al.*, 2005). Diversas metodologias de regionalização estão disponíveis, destacando-se as descritas por ELETROBRAS (1985a), ELETROBRAS (1985b), Chaves *et al.* (2002) e Novaes (2005).

Nas outorgas coletivas é comum a determinação de uma vazão residual, a vazão que deve permanecer no curso d'água depois de descontadas todas as captações. É esta a vazão a ser respeitada em uma outorga coletiva. A vazão residual é

normalmente definida para a foz de uma microbacia e visa garantir o funcionamento do ecossistema e os demais usos outorgados a jusante. Deste modo, a vazão disponível para distribuição entre os usuários de uma outorga coletiva é toda a vazão que excede a vazão residual num dado momento. Este cálculo é mais justo e permite que o valor da vazão residual seja atualizado ao longo do tempo buscando vazões mais ou menos restritivas e amenizando os impactos da sazonalidade e eventos naturais extremos. Porém, este método também requer um monitoramento em tempo real das vazões nos pontos de controle, ou ao menos um acompanhamento diário para a definição da vazão a ser distribuída.

### 3.3 AGRICULTURA IRRIGADA

A irrigação é responsável por 70% de toda a retirada de água doce de rios e outros mananciais e garante 40% da produção agrícola mundial em 20% das terras cultivadas (COORDINATION SUD, 2012). O último relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil mostra que 72% de toda a vazão outorgada no período entre agosto de 2010 e julho de 2011 foi utilizada na irrigação (ANA, 2012). A Figura 3.1 apresenta o percentual de vazões outorgadas no período por finalidade de uso.



**Figura 3.1 – Vazão outorgada entre agosto de 2010 e julho de 2011 por finalidade de uso, no Brasil**

Fonte: ANA (2012).

Nota: Dados adaptados pelo autor.



As estatísticas em processamento projetam a área irrigada do Brasil em cerca de 3,89 milhões de hectares. Ademais, o país conta com uma área agrícola potencial, adicional, para o desenvolvimento sustentável da agricultura irrigada, de cerca de 26 milhões de hectares irrigáveis, o que corresponde a 13% das áreas potencialmente irrigáveis no mundo (CHRISTOFIDIS, 2008).

Uma produção eficiente e rentável deve constituir o principal objetivo econômico de um empreendimento agrícola, com utilização racional dos recursos disponíveis, a fim de se obterem os mais altos níveis de produtividade econômica. Na irrigação, a água é o recurso natural sobre o qual se tem maior interesse em exercer controle, no sentido de alterar seu padrão de disponibilidade espacial e temporal, adequando-o à demanda agrícola (FRIZZONE, 1993).

A seguir serão apresentados alguns conceitos relacionados ao clima e ao solo, fundamentais para o emprego do manejo de irrigação que, de acordo com Leme (1991), é o mais importante recurso disponível para se racionalizar a aplicação de água, requerendo procedimentos de programação que permitem a determinação de turno e da quantidade de água da próxima irrigação.

### **3.3.1 Clima**

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), o clima é um dos principais fatores que determinam as necessidades hídricas de uma cultura para crescimento e rendimentos ótimos. Dentre as vantagens de se conhecer o clima, os autores citam: (1) a previsão de fatores adversos às culturas, tais como geadas e estiagens; (2) o planejamento da irrigação; (3) o estabelecimento de calendários de plantio e colheita; (4) a seleção de variedades aptas à região; (5) o controle e a prevenção de algumas doenças e pragas; e (6) o dimensionamento de estruturas de controle e dissipação de excedentes hídricos.

O consumo de água do conjunto solo-planta, também conhecido como necessidade hídrica da cultura, corresponde à quantidade de água que é transferida à atmosfera em forma de vapor, via transpiração e evaporação. Essa transferência dá-se na

superfície do solo pela evaporação e na superfície da planta pela transpiração. Em uma cultura bem estabelecida e desenvolvida, a taxa de transpiração é bem superior à taxa de evaporação. Porém, do ponto de vista agrônomo, as duas taxas são de grande importância, pois representam a perda total de água para a atmosfera. À união dessas duas taxas dá-se o nome de taxa de evapotranspiração (ET), utilizada para expressar a necessidade hídrica da cultura (DOORENBOS e KASSAM, 1979).

Dois sistemas físicos básicos regulam o clima nas vizinhanças das plantas: (1) o balanço de energia (radiação solar, temperatura e comprimento do dia); e (2) a transferência aerodinâmica (velocidade do vento ou distância por ele percorrida e umidade relativa do ar). Muitos destes fatores são inter-relacionados, sendo difícil determinar o efeito de cada um na ET (GOLDBERG e TEIXEIRA, 1976).

Do total de precipitação (PP) que incide em uma área, parte é retida pela cobertura vegetal, parte escoia sobre a superfície do solo e parte infiltra no solo. Da quantidade que infiltra no solo, uma parte é retida na zona radicular e outra parte percola para as partes mais profundas. Segundo Bernardo *et al.* (2005), a distribuição da precipitação entre estas quatro partes depende, principalmente do total precipitado, da intensidade e da frequência da precipitação, da cobertura vegetal, da topografia local, do tipo de solo e do teor de umidade no solo antes da chuva. De acordo com o autor, quanto à irrigação, interessa principalmente: (1) a parte precipitada que será utilizada diretamente pela cultura (precipitação efetiva); (2) a frequência e a magnitude de precipitação, que se podem esperar na área de projeto (precipitação provável); e (3) a quantidade de água que abastecerá os rios e as represas a fim de ser usada na irrigação.

### **3.3.2 Solo**

Depois de exposto ao ar por tempo relativamente longo, um solo permanece a uma umidade praticamente constante, porém variável de solo para solo (REICHARDT, 1990). Segundo o autor, enquanto houver água disponível no solo, existirá o movimento de água da planta para a atmosfera. Não havendo água disponível, o movimento cessa.

A quantificação da água disponível no solo é fundamental para a prática de manejo agrícola racional. Definiu-se, então, uma quantidade de água disponível baseada em parâmetros do solo, a disponibilidade total de água no solo (DTA), que segundo Doorenbos e Kassam (1979), é a lâmina de água armazenada por profundidade de solo, entre os teores de umidade na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP). Para os autores, a CC é considerada como o limite superior da quantidade de água no solo disponível para as plantas e o PMP corresponde ao ponto no qual as plantas não conseguem mais extrair água do solo e murcham de maneira irreversível. A umidade na CC corresponde a um estado aparentemente de equilíbrio, alcançado depois da drenagem da água gravitacional proveniente de um solo saturado e no PMP corresponde a um estado de umidade mínimo do solo.

O balanço hídrico do solo corresponde à somatória das quantidades de água que entram e saem de um elemento de volume do solo, num intervalo de tempo, apresentando como resultado a quantidade líquida de água que permanece disponível às plantas. Os componentes do balanço são a PP, a irrigação, o deflúvio superficial, a percolação profunda ou ascensão capilar, a variação de armazenamento no solo e a ET (REICHARDT, 1990). Segundo Mendonça (2001), o balanço entre a entrada por PP e a saída por ET, recarga subterrânea e escoamento superficial pode ser estimado para um perfil de solo. Esse balanço permite a computação da ET, recarga do aquífero e vazão a partir de umas poucas observações do solo, da vegetação e de informações hidro meteorológicas.

Segundo Bernardo *et al.* (2005, p. 29), a disponibilidade total de água no solo é uma característica do solo, que corresponde à água nele armazenada entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. A disponibilidade de água no solo pode ser calculada pela equação a seguir.

$$DTA = \frac{(CC - PMP)}{10} D_s \quad (3.1)$$

Onde:

DTA é a disponibilidade total de água, em mm/cm;

CC é a capacidade de campo, % em peso;

PMP é o ponto de murcha permanente, % em peso;

$D_s$  é a densidade do solo seco, em  $\text{g/cm}^3$ .

Conforme recomendado por EMBRAPA (1997, *apud* REIS *et al.*, 2005), para a determinação dos parâmetros de solo CC, PMP e  $D_s$ , devem ser realizadas amostras de solo em diversos pontos ao longo da área irrigada. As amostras coletadas devem ser reunidas e misturadas até atingir a homogeneidade e, posteriormente, encaminhadas a laboratórios especializados para classificação textural e determinação dos parâmetros.

Partindo da DTA, é possível estimar a irrigação real necessária para uma cultura.

$$IRN = DTA \cdot Z \cdot f \quad (3.2)$$

Onde:

IRN é a irrigação real necessária, em mm;

Z é profundidade efetiva da raiz, profundidade de solo em que se concentram cerca de 80% das raízes, em cm;

f é o fator de disponibilidade de água no solo, que depende da cultura e da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), adimensional.

A irrigação total necessária, considerando a eficiência de aplicação da água pela irrigação, pode ser calculada através da seguinte equação.

$$ITN = \frac{IRN}{E_a} \quad (3.3)$$

Onde:

ITN é a irrigação total necessária, em mm;

$E_a$  é a eficiência de aplicação da irrigação, em %.

### 3.3.3 Manejo de Irrigação

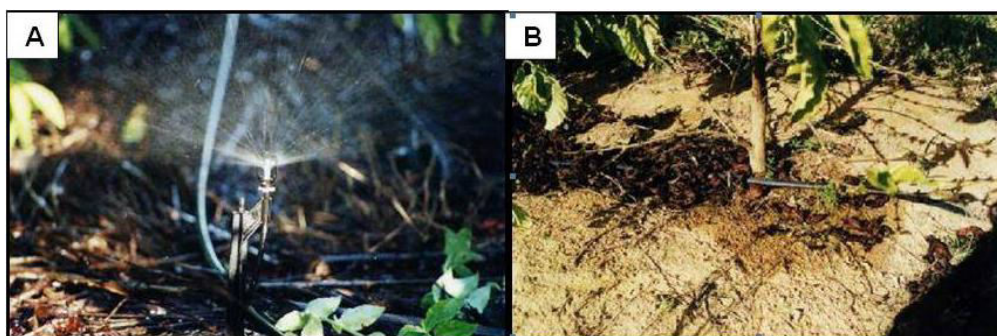
De acordo com Mantovani (2008), o manejo da irrigação é definido como a condução da irrigação na cultura, suprimindo de forma apropriada às necessidades hídricas da lavoura com a lâmina de água e a data de irrigação mais adequadas.

A falta de manejo de irrigação conduz ao uso ineficiente da água, seja pela aplicação em excesso ou aquém das necessidades da planta. Quando a aplicação de água é abaixo da requerida pela planta ocorre redução da produtividade devido ao baixo crescimento das culturas, os solos podem ficar salinizados, dentre outros problemas. Quando em excesso, desperdiçasse água, impactando negativamente o solo e os mananciais, além de também provocar o decréscimo na produção da lavoura (CHAMON, 2002). Basak (1999, p. 267), ao apresentar os objetivos do manejo de irrigação, destaca a necessidade de se garantir o fornecimento de água à cultura no tempo certo para a máxima produção do cultivo e a busca pela uniformização da lâmina de irrigação, ou seja, como a água está sendo distribuída na lavoura e se as plantas estão recebendo quantidades equivalentes do recurso. O autor enfatiza a necessidade de se realizar manutenções periódicas no sistema de irrigação, com o objetivo de garantir a eficiência no uso da água e na uniformidade de distribuição.

Sabe-se que a uniformidade de um sistema de irrigação influencia diretamente no rendimento da cultura (produtividade) e na quantidade de água a ser fornecida à mesma. Quando tal uniformidade é baixa, as lâminas de aplicação são maiores que as necessárias e provocam queda na produtividade agrícola. Mas, por outro lado, sistemas de irrigação com alta uniformidade implicam em menor lâmina aplicada e em aumento da produtividade agrícola. Lopes (2011) explica que as avaliações de desempenho de sistemas de irrigação basicamente são realizadas por meio do estudo da uniformidade de distribuição (ou aplicação) da água na lavoura, expressos por indicadores tais como o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC). A uniformidade de distribuição expressa, em termos gerais, se as plantas de uma lavoura estão recebendo lâminas de água equivalentes. Para tanto, são avaliados, dentre outros fatores: (1) o projeto de irrigação (dimensionamento hidráulico); (2) a pressão ao longo das tubulações; (3) a ocorrência de entupimentos, cortes ou outras avarias no equipamento; e (4) o efeito das condições climáticas locais (vento, temperatura, etc.).

Neste sentido, a irrigação localizada constitui um sistema que visa atender aos requisitos acima. A irrigação localizada caracteriza-se por aplicar água ao solo de forma direcionada, apenas na área a ser explorada pela região radicular, em

pequenas quantidades e com alta frequência, de modo a deixar a umidade do solo sempre próximo à capacidade de campo. A irrigação localizada é tipicamente representada pelos métodos conhecidos por microaspersão e gotejamento (Figura 3.2). O gotejamento é mais antigo no Brasil e é utilizado desde 1972, enquanto que a microaspersão é mais recente, datado de 1982 (BERNARDO *et al.*, 2005).



**Figura 3.2 – Sistema de irrigação por microaspersão (A) e por gotejamento (B).**  
Fonte: LabGest (2010).

Diversos são os métodos de manejo da irrigação utilizados no Brasil e no mundo. No mercado, podem ser encontrados diversos aplicativos que apoiam o manejo de irrigação em uma propriedade, entre eles: (1) Ref-ET<sup>®</sup> (ALLEN, 2000, *apud* BARBOSA, 2010); (2) AVALIA<sup>®</sup> (BORGES JÚNIOR e MANTOVANI, 2001); e (3) IRRIPLUS<sup>®</sup> (MANTOVANI, 2008). Ainda assim, o manejo de irrigação é uma prática complexa, que envolve um grande número de variáveis e normalmente utiliza equipamentos de alto custo financeiro e que exigem conhecimento técnico aprofundado ou necessidade de qualificação técnica. Por isso, a sua adoção tem sido alvo de grande resistência por parte da maioria dos produtores, podendo estar excluindo ou comprometendo os grupos mais fragilizados, como os pequenos produtores de base familiar (LOPES, 2011).

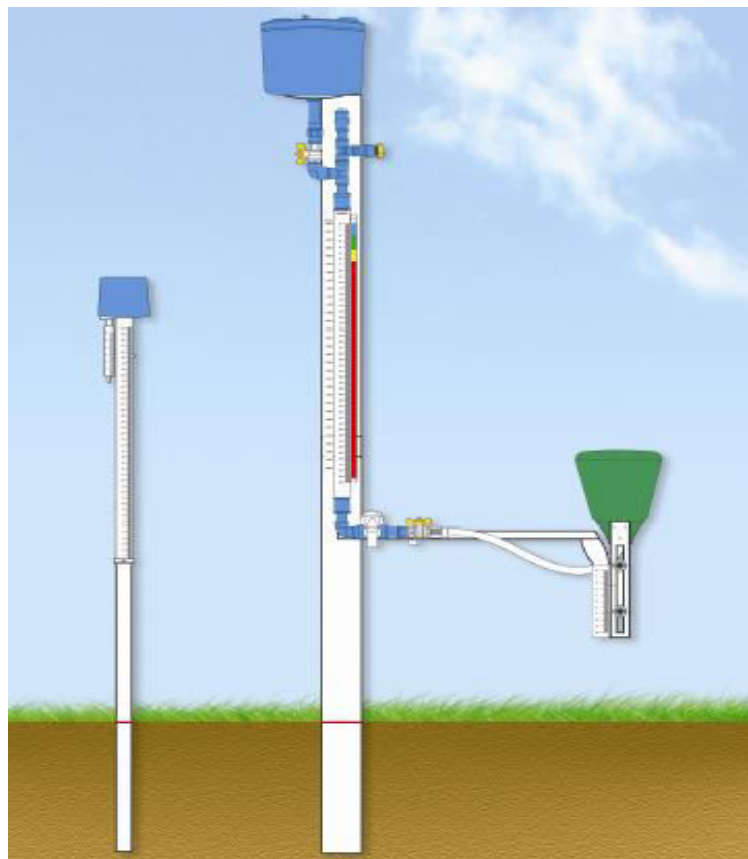
Em todo o mundo, dos 925 milhões de pessoas que sofrem de fome, 75% vivem em áreas rurais. A agricultura familiar abrange 98% dos produtores, representando entre 50 a 70% da produção de alimentos. Nos países em desenvolvimento, agricultores com pequenas propriedades ou camponeses sem terra compreendem quase metade da população e 1,5 bilhão de trabalhadores (COORDINATION SUD, 2012).

De acordo com Bernardo *et al.* (2005, p. 558), o objetivo básico no manejo da irrigação é decidir quando e quanto irrigar. Com a intenção de atender a essas duas questões básicas e tornar o manejo de irrigação amplamente acessível ao produtor

rural, especialmente o de base familiar, a Universidade Federal de Viçosa (UFV) desenvolveu uma ferramenta de auxílio ao manejo da irrigação de fácil operação e baixo custo, o Irrigâmetro (OLIVEIRA e RAMOS, 2008).

### 3.3.4 Irrigâmetro

O irrigâmetro é utilizado para estimar a evapotranspiração da cultura e medir a quantidade de chuva precipitada, e, além disso, indicar o momento de irrigar e o tempo de irrigação necessário à cultura, considerando o sistema de irrigação utilizado na propriedade (Figura 3.3). O aparelho é de fácil utilização e em pouco tempo uma pessoa aprende a manejar adequadamente a irrigação de qualquer cultura, não demandando conhecimento técnico, programa computacional ou cálculos. A operação do irrigâmetro deve ser realizada quando da decisão de irrigar ou da ocorrência de chuvas e consiste simplesmente em abrir e fechar válvulas, obedecendo a uma sequência predefinida.



**Figura 3.3 – Evaporímetro (direita) e pluviômetro (esquerda)**  
Fonte: Oliveira e Ramos (2008).

O irrigâmetro possui vários componentes, dentre os quais se destaca o evaporatório, um recipiente de forma cônica, cor verde, que mantém uma superfície de água exposta à atmosfera. A altura do nível da água no seu interior pode ser modificada para que a área de superfície exposta à atmosfera seja alterada, permitindo estimar a evapotranspiração. O nível de água dentro do evaporatório é recomendado pelo fabricante, de acordo com as diferentes fases de desenvolvimento da cultura. A Tabela 3.1 indica a quantidade de água recomendada para cada fase da cultura.

**Tabela 3.1 – Valores do nível de água no evaporatório de acordo com as diferentes fases de desenvolvimento da cultura**

Fases de Desenvolvimento da Cultura	Face da Régua de Manejo	Faixas de Valores do Nível de Água no Evaporatório (cm)	Nível Recomendado (cm)
Germinação	G	1.0 a 2.5	2.0
1	1	1.5 a 3.0	2.5
2	2	2.5 a 4.0	3.5
3	3	3.5 a 5.0	4.5
4	3	2.5 a 4.0	3.5

Fonte: Oliveira e Ramos (2008).

Nota: Dados adaptados pelo autor.

De acordo com Oliveira e Ramos (2008), é possível ajustar o nível de água no evaporatório do irrigâmetro para as seguintes fases de desenvolvimento da cultura: (1) Germinação, do plantio até a emergência; (2) Fase 1, da emergência até 10% de cobertura do solo; (3) Fase 2, de 10 a 80% de cobertura do solo ou início do florescimento; (4) Fase 3, após 80% de cobertura do solo ou do início do florescimento até o início da maturação; e (5) Fase 4, do início da maturação até a colheita.

Geralmente, as culturas são mais sensíveis ao déficit hídrico durante a emergência, a floração e na fase inicial de formação da colheita do que durante o período vegetativo, após o estabelecimento e maturação. Isto implica que a programação do momento de aplicação de água é tão importante quanto o nível de suprimento de água durante o período total de crescimento. Portanto, o planejamento do suprimento estacional deve considerar o fornecimento ótimo de água à cultura durante as fases de ciclo fenológico (FRIZZONE, 1998).

De acordo com Oliveira e Ramos (2008), uma régua com um código de cores (Régua de Manejo) alerta sobre o momento de irrigar, bastando observar o nível de



água no tubo de alimentação em relação às faixas coloridas associadas às fases de desenvolvimento da cultura. A régua de manejo possui quatro faces, representando as distintas fases de desenvolvimento da cultura apresentadas na Tabela 3.1. Caso o nível de água dentro do tubo de alimentação esteja alinhado com a faixa azul ou verde da régua, é indicativo de boa disponibilidade de água no solo, não havendo necessidade de irrigação. O sistema de irrigação deve ser acionado quando o nível de água no tubo de alimentação estiver alinhado com a faixa amarela ou vermelha. A faixa amarela estabelece uma margem de segurança no indicativo do momento de irrigar e cabe ao irrigante decidir ou não pela irrigação. Por exemplo, caso haja indício de chuva, é possível aguardar até o próximo dia para tomar uma ação. Já a faixa vermelha sinaliza que a planta está sofrendo estresse hídrico e que irrigação deve ser realizada imediatamente para evitar redução na produtividade. O equipamento conta também com outra régua graduada (Régua Temporal) que indica o tempo de funcionamento do sistema de irrigação da propriedade para manter o solo em condições hídricas aceitáveis ou ideais para a cultura.

Antes que o irrigâmetro seja disponibilizado para uso, é necessário fazer o diagnóstico do sistema de irrigação e a caracterização do solo, do clima e da cultura para uma adequada calibração do equipamento. O manejo da irrigação utilizando o aparelho integra esses fatores através da seleção das réguas. Na seleção da régua temporal, é necessário conhecer a intensidade líquida de aplicação de água pelo sistema de irrigação, que depende do modelo do emissor, da sua vazão e do espaçamento entre emissores. Para selecionar a régua de manejo deve-se conhecer a que classe de sensibilidade a déficits hídricos a cultura pertence e a fase de desenvolvimento da cultura (SILVEIRA *et al.*, 2009).

O irrigâmetro não fornece informação sobre uniformidade de distribuição da água irrigada na cultura. Segundo Oliveira e Ramos (2008), em sistemas localizados de irrigação, para que o aparelho opere adequadamente, a uniformidade de distribuição do sistema deve ser no mínimo de 90%, evitando-se impactos negativos na produção e na gestão da água.

Diversas pesquisas sobre o irrigâmetro avaliam o seu desempenho considerando aspectos como diversidade climática e de culturas agrícolas (CONTIN, 2008; PAULA, 2009; BARBOSA, 2010). Estudos mais recentes, como o de Lima (2012),

têm buscado a comparação e a integração do equipamento com outros sistemas de manejo de irrigação, auxiliando quanto ao estado de uniformidade de distribuição e aplicação de água na irrigação para o seu adequado emprego.

### 3.3.4.1 Configuração do Aparelho

O irrigâmetro deve ser ajustado de acordo com o tipo de cultura, de sistema de irrigação e de solo, portanto, antes de ser instalado, deve ser dimensionado para cada propriedade que irá recebê-lo. O dimensionamento consiste na escolha das régua temporal e de manejo, cuja metodologia para seleção é descrita por Oliveira e Ramos (2008) e apresentada de forma resumida a seguir.

A régua de manejo é codificada por letras seguidas por um número. As letras correspondem à cultura muito sensível (CMS), cultura sensível (CS) ou cultura pouco sensível (CPS) ao déficit hídrico. O manual do irrigâmetro fornece uma tabela relacionando as principais culturas e o grau de sensibilidade ao déficit hídrico. Algumas destas culturas são apresentadas na Tabela 3.2. No caso da cultura da banana, o código correspondente é o CS.

**Tabela 3.2 – Grau de sensibilidade ao déficit hídrico das culturas**

Grau de Sensibilidade ao Déficit Hídrico	Culturas
Cultura Muito Sensível (CMS)	Alface
	Beterraba
	Tomate
Cultura Sensível (CS)	Banana
	Inhame
	Mamão
Cultura Pouco Sensível (CPS)	Batata-doce
	Braquiária
	Café

Fonte: Oliveira e Ramos (2008).

Nota: Dados adaptados pelo autor.

O número corresponde à disponibilidade total de água no solo e deve ser calculado pela Equação 3.1, conforme procedimentos apresentados na seção 3.3.2. Partindo da sensibilidade da cultura ao déficit hídrico e do valor da DTA, escolhe-se a régua de manejo dentre as opções oferecidas pelo fabricante. Alguns destes modelos, variando o valor de DTA de 0,3 a 2,4, são apresentados na Tabela 3.3 a seguir.

**Tabela 3.3 – Modelos de régua de manejo do irrigâmetro**

Cultura Muito Sensível ao Déficit Hídrico	Cultura Sensível ao Déficit Hídrico	Cultura Pouco Sensível ao Déficit Hídrico
CMS 0.3	CS 0.3	CPS 0.3
CMS 0.4	CS 0.4	CPS 0.4
...	...	...
CMS 2.3	CS 2.3	CPS 2.3
CMS 2.4	CS 2.4	CPS 2.4

Fonte: Oliveira e Ramos (2008).

Nota: Dados adaptados pelo autor.

A régua temporal é codificada pela intensidade líquida de aplicação de água do sistema de irrigação ( $I_L$ ). Para o microaspersor, deve-se medir a vazão média do sistema pela metodologia de Merriam e Keller (1978, *apud* SILVA *et al.*, 2002) e calcular a intensidade líquida de aplicação pela fórmula abaixo.

$$I_L = \frac{Q_{\text{médio}}}{E_L \cdot E_{LL}} \quad (3.4)$$

Onde:

$I_L$  é intensidade líquida de aplicação, em mm/h;

$E_L$  é o espaçamento entre os emissores, em m;

$E_{LL}$  é o espaçamento entre as linhas laterais, em m;

$Q_{\text{médio}}$  é a vazão média dos emissores, em l/h.

De posse do valor da  $I_L$ , escolhe-se a régua temporal, de acordo com as opções apresentadas na Tabela 3.4.

**Tabela 3.4 – Modelos de régua temporais do irrigâmetro**

0.1	1.5	2.9	4.3	5.7	8.5	14	22	36
0.2	1.6	3	4.4	5.8	8.75	14.5	23	37
0.3	1.7	3.1	4.5	5.9	9	15	24	38
0.4	1.8	3.2	4.6	6	9.25	15.5	25	39
0.5	1.9	3.3	4.7	6.25	9.5	16	26	40
0.6	2	3.4	4.8	6.5	9.75	16.5	27	
0.7	2.1	3.5	4.9	6.75	10	17	28	
0.8	2.2	3.6	5	7	10.5	17.5	29	
0.9	2.3	3.7	5.1	7.25	11	18	30	
1	2.4	3.8	5.2	7.5	11.5	18.5	31	
1.1	2.5	3.9	5.3	7.75	12	19	32	
1.2	2.6	4	5.4	8	12.5	19.5	33	
1.3	2.7	4.1	5.5	8.25	13	20	34	
1.4	2.8	4.2	5.6	8.5	13.5	21	35	

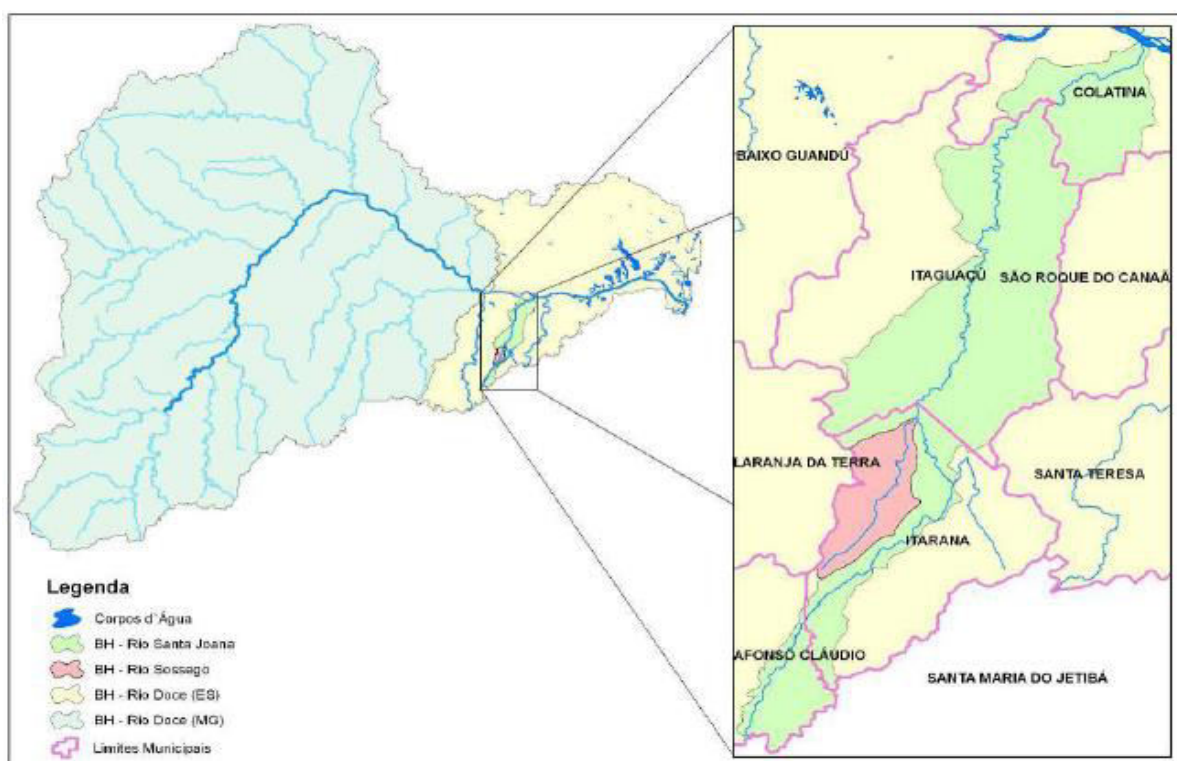
Fonte: Oliveira e Ramos (2008).

Nota: Dados adaptados pelo autor.

### 3.3.4.2 Utilização Prática na Bacia do Córrego Sossego

O projeto de Lima (2012) conduziu o manejo de irrigação com apoio do irrigâmetro em cinco propriedades da bacia do Córrego Sossego, produtoras de banana (*Musa* spp.) e que utilizam sistemas de irrigação localizados por microaspersão, a fim de comparar seu desempenho em relação a outros métodos de condução do manejo.

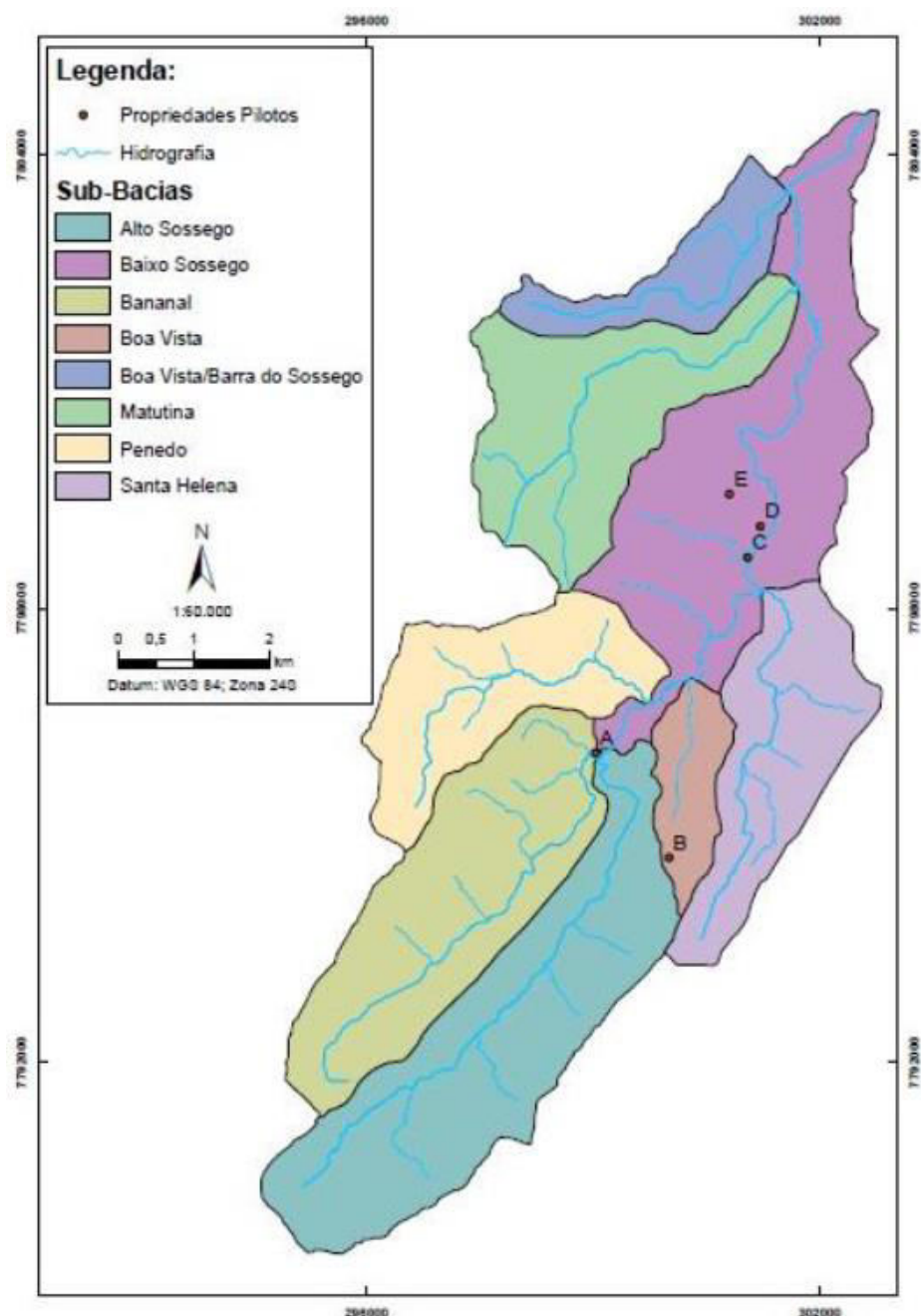
O Córrego Sossego está localizado no município de Itarana, ES, a 130 km de distância da capital Vitória, e inserido na bacia hidrográfica do Rio Santa Joana, uma sub-bacia do Rio Doce (Figura 3.4). A bacia hidrográfica do Córrego Sossego tem uma área de 65 km<sup>2</sup> e segundo o SEBRAE (2006, *apud* LABGEST 2010) comporta cerca de 200 propriedades rurais de base familiar. É caracterizada por ser escassa em recursos hídricos e por ser uma região de conflito pelo uso da água, bem como por ter grande área em estágio avançado de degradação. As culturas agrícolas que mais se destacam são o café, a banana e o inhame (LABGEST, 2010).



**Figura 3.4 – Inserção da microbacia do Córrego Sossego na bacia hidrográfica do Rio Doce**  
Fonte: Lopes (2011).

A Figura 3.5 apresenta o mapa de localização das cinco propriedades selecionadas, nomeadas pelas letras “A”, “B”, “C”, “D” e “E”. Durante a seleção das culturas, foram

respeitadas as exigências de implantação e operação dos irrigômetros. Dentre essas exigências, deve ser garantida uma uniformidade de distribuição do sistema de irrigação de no mínimo 90%, o que sugere a utilização de sistemas de irrigação mais novos e com manutenções periódicas. As propriedades e culturas selecionadas também não sofrem influência de lençol freático. Em todas as cinco propriedades, a cultura da banana apresentava-se na mesma fase de desenvolvimento (fase final) e as condições de sombreamento eram semelhantes, com porcentagem de área sombreada de 100% (LIMA, 2012).



**Figura 3.5 – Mapa de localização das propriedades com irrigômetro**  
Fonte: Lima (2012).



Seguindo a metodologia apresentada na seção 3.3.4.1, foram definidos os modelos das réguas para cada propriedade selecionada e, posteriormente, os irrigômetros foram instalados. A Figura 3.6 mostra um irrigômetro instalado em uma das propriedades. De acordo com Oliveira e Ramos (2008), para garantir uma melhor operação dos aparelhos são importantes alguns cuidados durante a instalação, como: (1) instalar em lugar próximo a área irrigada e livre de obstáculos; (2) o evaporatório deverá ser instalado voltado para o norte para evitar sombreamento; e (3) o pluviômetro deverá ser instalado a um metro de distância e ao sul do evaporatório.



**Figura 3.6 – Pluviômetro (A) e evaporímetro (B) instalados na bacia do Córrego Sossego**  
Fonte: Lima (2012).

Na Tabela 3.5 são apresentados os dados de caracterização do solo das cinco propriedades e a Tabela 3.6 fornece os dados levantados para os sistemas de irrigação de cada cultura. Finalmente, na Tabela 3.7 são apresentados os valores de DTA,  $I_L$  e os modelos das réguas de manejo e das réguas temporais para as propriedades selecionadas.

**Tabela 3.5 – Composição granulométrica, classificação textural, capacidade de campo, ponto de murcha permanente e densidade do solo das propriedades**

Propriedade	Camada (m)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação Textural	CC (%)	PMP (%)	Ds (g/cm <sup>3</sup> )
A	0 – 0.2	61.2	0.4	38.4	Argilosa	24.97	14.69	1.34
B	0 – 0.2	64.6	5.3	30.1	Média	23.36	12.52	1.36
C	0 – 0.2	72.5	4.2	23.3	Média	23.07	11.81	1.41
D	0 – 0.2	54.5	7.8	37.7	Argilosa	26.31	13.58	1.51
E	0 – 0.2	54.4	11.0	34.6	Argilosa	25.12	15.79	1.32

Fonte: Lima (2012).

Nota: Dados adaptados pelo autor.

**Tabela 3.6 – Caracterização dos sistemas de irrigação de cada propriedade selecionada**

Propriedade	Vazão (l/h)		Intensidade de Aplicação (mm/h)	Uniformidade (%)		Área (m <sup>2</sup> )	Espaçamento entre Emissores
	Emissor	Sistema		CUC	CUD		
A	86.58	12554.10	4.23	89.55	85.59	3102.80	5.0 x 4.0
B	61.00	11468.00	3.05	85.41	78.28	3911.30	4.0 x 5.0
C	163.21	28072.12	10.20	92.26	84.67	2848.40	4.0 x 4.0
D	112.59	6755.40	4.02	70.43	56.13	1841.00	4.0 x 5.0
E	44.64	5892.48	1.86	83.32	74.94	3218.60	6.0 x 4.0

Fonte: Lima (2012).

Nota: Dados adaptados pelo autor.

**Tabela 3.7 – Régua de manejo e temporal das propriedades selecionadas**

Propriedade	DTA (mm/cm)	Régua de Manejo	Lâmina Líquida de Aplicação (mm/h)	Régua Temporal
A	1.38	CS 1.4	4.23	4.2
B	1.47	CS 1.5	3.05	3
C	1.59	CS 1.6	10.20	10
D	1.92	CS 1.9	4.02	4
E	1.23	CS 1.2	1.86	1.9

Fonte: Lima (2012).

Nota: Dados adaptados pelo autor.

Durante a operação, realizada no período de setembro a dezembro de 2012, foram levantados diariamente, através de leituras diretas no aparelho, os dados relacionados ao manejo de irrigação e anotados em planilha estruturada pelos próprios produtores. Dentre os dados monitorados e coletados diariamente estão: (1) a lâmina de aplicação diária obtida através de leitura do nível de água no interior do tubo de alimentação; (2) a leitura do pluviômetro para considerar a precipitação no manejo de irrigação; (3) a cor indicada na régua de manejo para apoiar a decisão pela irrigação; e (4) o tempo que o sistema de irrigação deveria permanecer ligado de acordo com a régua temporal. Nos casos em que o produtor optou pela irrigação, também foram anotados o tempo de funcionamento do sistema de irrigação e a

indicação se houve necessidade de reposição de água no tubo de alimentação do aparelho (LIMA, 2012).

Lima (2012) comparou as irrigações praticadas pela experiência empírica do produtor rural, geralmente sem critérios técnicos, com as irrigações indicadas pelos irrigômetros, tomando como referência as estimadas pelo IRRIPLUS®. O irrigômetro demonstrou desempenho satisfatório no manejo da irrigação, sendo recomendado como instrumento de auxílio à gestão da água na agricultura irrigada para pequenos produtores rurais de base agrícola familiar. Por outro lado, em alguns momentos a disponibilidade hídrica da região não foi suficiente para atender a demanda indicada pelos aparelhos, por isso, o autor recomendou o desenvolvimento de estudos futuros para a utilização integrada de irrigômetros com sistemas de suporte a decisões, visando não somente o aperfeiçoamento do manejo da irrigação, mas também uma melhor distribuição da água em uma microbacia.

### 3.4 SISTEMA DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS

Segundo a legislação federal, são princípios básicos para o funcionamento do sistema de informações sobre recursos hídricos: (1) a descentralização da obtenção e da produção de dados e informações; (2) a coordenação unificada do sistema; e (3) o acesso a dados e informações garantido a toda a sociedade (BRASIL, 1997). Atendendo ao que preconiza a lei federal, as leis estaduais e do Distrito Federal análogas, também preveem o sistema de informações como um instrumento estratégico para a gestão e o planejamento dos recursos hídricos em seus domínios.

A ANA, responsável por implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) (CNRH, 2000), afirma que os sistemas de informações servirão de referência para aplicação dos demais instrumentos de gestão, outorga, enquadramento, cobrança e fiscalização dos usos (ANA, 2009). Segundo Sousa *et al.* (2009), o SNIRH foi implementado para prestar informações sobre recursos hídricos e sobre a gestão desses recursos no Brasil. Porém, apesar de apoiar a gestão dos usos múltiplos em nível nacional, o SNIRH não desempenha a função de controle dos recursos hídricos. A expectativa é que este controle seja realizado pelas



entidades gestoras estaduais, agências de bacias e comitês locais, e que as bases de informação se comuniquem, não sendo a descentralização da gestão um empecilho à unificação do sistema.

A fim de enfrentar a complexidade dos problemas de gestão de recursos hídricos, os novos sistemas de informação para gestão e apoio aos processos de tomada de decisão necessitam integrar a dimensão tecnológica com a dimensão social, com base na participação dos interessados. A evolução natural dos processos decisórios no domínio ambiental é partir de uma perspectiva decisor único para um processo de debate entre as diversas partes interessadas. As ferramentas de decisão devem se tornar plataformas compartilhadas através das quais o debate possa ser organizado e as diferentes fontes de conhecimento integradas (GIORDANO *et al.*, 2007).

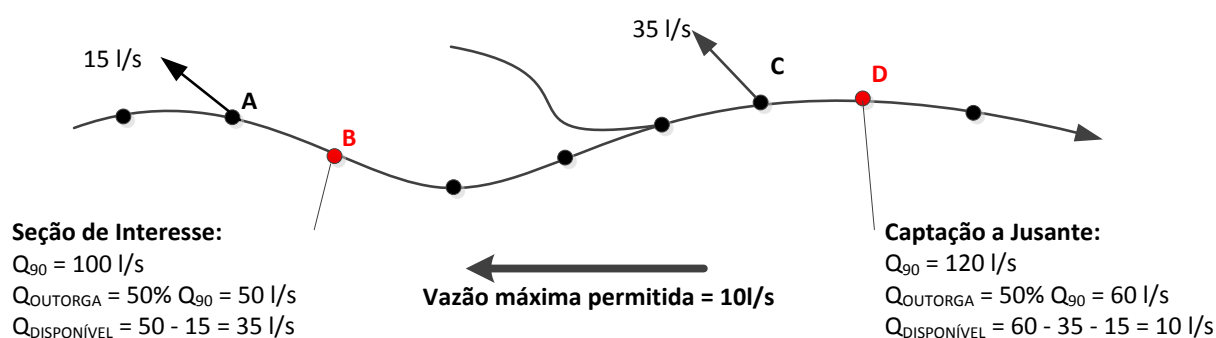
### **3.4.1 Sistemas de Informações Geográficas**

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas capazes de armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para análises e processamentos (CÂMARA *et al.*, 1996).

Atualmente, os SIG evoluíram para bancos de dados geográficos com domínios, subtipos, versionamentos e relacionamentos, administrados por Sistemas Gerenciadores de Bases de Dados Relacionais (SGBDR), contribuindo para uma nova geração de aplicativos geográficos. Os SGBDR com suporte geográfico são capazes de gerenciar os dados espaciais com suas geometrias e topologias e de relacioná-los de forma eficiente com as demais informações não espaciais que complementam qualquer sistema de informações. Dentre os exemplos de SGBDR com suporte a dados espaciais, podemos citar o Oracle® com a extensão Spatial® (MURRAY, 2003) e o PostGreSQL® com a extensão PostGIS® (POSTGIS, 2008).

No âmbito da gestão de recursos hídricos é fundamental o conhecimento das dinâmicas espaciais, permitindo, sobretudo, a identificação dos conflitos entre montante e jusante (GWP, 2000).

A disponibilidade de recursos hídricos é determinada pela forma como a água é utilizada a montante e a jusante em uma bacia hidrográfica (COORDINATION SUD, 2012). Desta forma, o cálculo da disponibilidade deve se basear no confronto entre a vazão demandada pelo usuário e a vazão que está disponível para outorga na seção de intervenção e que, se captada, não implicará violação do percentual remanescente a jusante. Com o apoio de sistemas de informações geográficos, é possível sistematizar as regiões hidrográficas, localizar cada ponto de captação e verificar os impactos de captações a montante e a jusante dos pontos de interferência. Também é possível aplicar a “imobilização hídrica”, em que a menor vazão disponível a jusante imobiliza a vazão máxima a ser outorgada a montante, assegurando vazões remanescentes a jusante (MARQUES, 2010). A Figura 3.7 exemplifica este conceito.



**Figura 3.7 – Esquema ilustrativo do conceito de “imobilização hídrica”, aplicando os critérios de outorga do estado do Espírito Santo**

Fonte: Marques (2010).

Nota: Dados adaptados pelo autor.

No cenário hipotético ilustrado na Figura 3.7, é avaliada a vazão disponível para outorga no ponto B de um curso d’água. Considerando os critérios de outorga utilizados no estado do Espírito Santo, apenas 50% da vazão de referência  $Q_{90}$  devem ser disponibilizados para outorga ao longo dos cursos d’água. Como a  $Q_{90}$  no ponto B é de 100 l/s, apenas 50 l/s são considerados outorgáveis neste ponto. Porém, para a concessão de outorgas, é necessário analisar se existem captações a montante consumindo deste valor outorgável. No ponto A, a montante do ponto B, 15 l/s já foram outorgados e estão sendo captados; portanto, apenas 35 l/s restam disponíveis para outras captações no ponto B. Além das análises a montante, também é importante verificar os possíveis impactos na disponibilidade hídrica a jusante. No ponto D, a jusante do ponto B, a vazão  $Q_{90}$  é de 120 l/s e 50% deste

valor (60 l/s) são outorgáveis, porém, ao descontar as captações a montante, restam apenas 10 l/s disponíveis para outras outorgas. Ou seja, no ponto D e a montante, incluindo o ponto B, não podem ser outorgadas vazões de captação superiores a 10 l/s, caso contrário, a exigência de permanência de 50% da  $Q_{90}$  não será atendida ao longo de todo o curso d'água.

### 3.4.2 Sistemas de Apoio à Decisão

Os Sistemas de Apoio a Decisões (SAD) ou Sistemas de Suporte a Decisões (SSD) são ferramentas de auxílio à tomada de decisões, baseada na intensa utilização de bases de dados e modelos matemáticos e, também, na facilidade com que propicia o diálogo entre o usuário e o computador. Segundo Porto e Azevedo (1997), são sistemas computacionais que têm por objetivo ajudar indivíduos que tomam decisões na solução de problemas parcialmente estruturados ou não estruturados. Os autores complementam que o melhor SAD não é obrigatoriamente aquele que utiliza as melhores técnicas, mas o que é capaz de induzir às melhores decisões, sendo necessário verificar com os usuários se estão dispostos a assumir riscos ou não e definir as regras que orientarão a escolha, seja para se chegar a uma solução ótima ou a uma solução satisfatória.

A arquitetura de um sistema de apoio à decisão é formada por três componentes ou camadas computacionais principais (SCHARDONG, 2006).

- **Base de dados:** componente para armazenamento de todas as informações utilizadas pelo sistema. Esta camada deve garantir o relacionamento entre cada módulo funcional e permitir a gravação e recuperação dos dados com facilidade e rapidez pelos modelos matemáticos e pelas telas da aplicação disponíveis aos usuários.
- **Modelos matemáticos:** camada de inteligência do sistema, onde estão implementadas as rotinas de otimização e simulação, utilizada nos cálculos do SAD.
- **Interfaces com os usuários:** componente do sistema responsável pela interação com os usuários. Nesta camada são disponibilizadas as telas da

aplicação, com as funcionalidades a serem acessadas pelos usuários, permitindo o cadastro de informações, visualização de relatórios e execução dos modelos de otimização e simulação.

As atividades de modelagem e construção de cada uma das camadas são muito distintas e normalmente apoiadas por outras ferramentas computacionais, específicas para o desenvolvimento. Em grandes projetos de sistemas de informações é comum a utilização de várias equipes de desenvolvimento trabalhando simultaneamente, cada uma focada em um componente do sistema principal de acordo com o seu perfil e experiência.

A interação entre o homem e a máquina é extremamente importante para o sucesso desses sistemas (PORTO e AZEVEDO, 1997). De acordo com o autor, o homem soluciona problemas a partir de informações que o permita conhecer uma determinada situação e da concepção intelectual do problema, quais são suas variáveis e como elas se interagem. O computador, por sua vez, deve auxiliar o homem na utilização destas informações e modelos, principalmente quando o problema é complexo e envolve uma quantidade muito grande de variáveis de decisão. Interfaces amigáveis devem ser desenvolvidas para facilitar a aproximação dos sistemas e seus futuros usuários, facilitando a participação de “não especialistas” (SCHARDONG, 2006). Conforme proposto por Marques (2010), a *internet* também deve ser utilizada como uma ferramenta de aproximação, integração e colaboração dos usuários, já que funde tecnologias de computação e comunicação, tornando informações acessíveis mundialmente de forma instantânea e conveniente a milhões de pessoas.

Os sistemas de apoio à decisão têm sido aplicados, com sucesso, a diversos campos da atividade humana em que o problema da decisão é muito complexo, como é o caso do gerenciamento e planejamento de sistemas de recursos hídricos. Marques (2010) apresenta a evolução dos sistemas de informações para gestão de outorgas, citando as várias ferramentas construídas, culminando no desenvolvimento de aplicações com interfaces amigáveis na *web*, como o SIGWeb Aquora<sup>®</sup>, que verificam a disponibilidade hídrica de uma rede hidrográfica e apoiam a decisão sobre a concessão ou não de outorgas pelos órgãos competentes.

Na área agrícola, um dos primeiros sistemas de apoio à decisão desenvolvidos no Brasil foi o Sistema de Suporte à Decisão Agrícola (SISDA), possibilitando um uso mais eficiente dos recursos hídricos e racionalizando o uso da água em lavouras (CARDOSO *et al.*, 1997). O *Land and Water Development Division* of FAO desenvolveu um programa de computador para o planejamento e gerenciamento da irrigação denominado CROPWAT<sup>®</sup>, que auxilia na determinação da evapotranspiração da cultura, no uso racional da água e mais especificamente nos projetos de manejo da irrigação (CLARK, 1998). Mais recentemente, o Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LabSid) desenvolveu o SAD Acquanet<sup>®</sup>, utilizado no planejamento e análise de impacto de projetos de aproveitamento de recursos hídricos, e diversas pesquisas têm sido realizadas com o intuito de agregar novos modelos no sistema, como por exemplo, os trabalhos de Carvalho (2003) para avaliação de projetos de irrigação e de Brigagão (2006) para a integração de modelos de análises econômicas e financeiras.

### **3.4.3 Modelos de Simulação**

A principal característica da técnica computacional de simulação é que ela se propõe a representar um sistema físico e prever seu comportamento sob um determinado conjunto de condições, não apresentando, praticamente, nenhuma exigência quanto à natureza do problema, a não ser a de que ele possa ser formulado matematicamente (WURBS, 1993).

Os modelos de simulação são incapazes de encontrar os valores das variáveis de decisão que otimizem os critérios formulados. O usuário que desejar encontrar valores ótimos para as variáveis de decisão utilizando um modelo de simulação é obrigado a recorrer a processos de tentativa e erro, também chamados de métodos de “força bruta”. Estes métodos se baseiam no processamento repetitivo do modelo, visando exaurir a faixa de valores possíveis das variáveis de decisão.

### 3.4.4 Modelos de Otimização

Os modelos de otimização são utilizados quando se deseja encontrar a alternativa que melhor atenda a um objetivo predeterminado. Esses modelos são formulados com a finalidade de determinar valores para um conjunto de variáveis de decisão que irão maximizar ou minimizar uma função objetivo sujeita a restrições.

Tanto a função objetivo quanto as restrições são representadas por expressões matemáticas que dependem das variáveis de decisão (WURBS, 1993). Os termos variáveis de decisão, função objetivo e restrições são frequentemente utilizados nos modelos de otimização, e as suas definições são apresentadas a seguir.

- **Variáveis de decisão:** são variáveis que estão sob o controle do decisor e que têm influência na solução do problema de otimização.
- **Função objetivo:** é uma função matemática das variáveis de decisão que representa os desejos do decisor, como, por exemplo, maximizar os benefícios ou minimizar os custos.
- **Restrições:** representam as limitações dos recursos disponíveis ou exigências específicas sobre as variáveis.

Os modelos de otimização normalmente utilizam funções objetivo com um único objetivo, transformando os outros objetivos, quando existentes, em restrições. Em geral, um modelo de otimização para análise de sistemas de recursos hídricos é representado matematicamente conforme demonstrado a seguir.

$$\max \text{ ou } \min f(X) \quad (3.5)$$

$$g_i(X) = b_i, i = 1, 2, \dots, m \quad (3.6)$$

Onde:

$f(X)$  é a função objetivo que deve ser otimizada (maximizada ou minimizada);

$X$  é o vetor de variáveis de decisão;

$g_i(X)$  são equações que representam as restrições na operação do sistema;

$b_i$  são parâmetros do modelo.

Uma revisão do estado da arte dos modelos de otimização aplicados a análises de sistemas de recursos hídricos é oferecida por Yeh (1985), Simonovic (1992), Wurbs

(1993) e Labadie (2004), enfatizando as técnicas de Programação Linear (PL), Programação Dinâmica (PD) e Programação Não Linear (PNL). O estado da arte sobre modelos de otimização para operação de sistemas de reservatórios é tratado nos trabalhos de Lima e Lanna (2005) e Fang *et al.* (2011).

Mais recentemente, novas técnicas de otimização, chamadas de heurísticas ou metaheurísticas, têm sido empregadas em *softwares* e pacotes computacionais, muitos dos quais gratuitos, visando encontrar o ótimo global em problemas lineares ou não. Os algoritmos heurísticos, embora não forneçam necessariamente uma solução ótima, são capazes de fornecer soluções razoáveis em um tempo considerado viável. Entre as técnicas mais conhecidas, estão: Lógica *Fuzzy*; Redes Neurais Artificiais; *Simulated Annealing*; *Ant Colony Algorithms*; *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP); Busca Tabu; e Algoritmos Evolucionários (Algoritmo Genético e *Differential Evolution*). Detalhes sobre o funcionamento e aplicação destas novas técnicas são encontradas em Jairaj e Vedula (2000), Reis e Akutsu (2002), Schardong (2006), Gurobi Optimization (2013) e Mittelman (2014).

#### 3.4.4.1 Programação Linear

A PL é caracterizada pela existência de uma função objetivo linear submetida a restrições lineares. Embora tenha sido concebida para representar problemas tipicamente lineares, é amplamente utilizada em planejamento e manejo de recursos hídricos, que possuem uma série de não linearidades ao serem representados matematicamente. Segundo Yeh (1985) e Labadie (2004), as razões que fazem com que a PL seja atrativa são: (1) a capacidade de lidar facilmente com problemas de larga escala, bastante comuns em recursos hídricos, permitindo a aplicação de técnicas especiais de linearização e decomposição para redução da dimensionalidade do problema; (2) a convergência para soluções ótimas globais; (3) a não exigência de fornecimento de uma política inicial (soluções iniciais); (4) a flexibilidade de adaptação a uma grande variedade de problemas; (5) a maior facilidade de entendimento quando comparada a outras técnicas de otimização; e (6) a resolução de problemas utilizando algoritmos disponíveis, a baixo custo.

O método Simplex e suas variações, como o Simplex Revisado e Simplex Dual, têm sido os mais utilizados na solução de PL aplicada a sistemas de recursos hídricos. A explicação e aplicação dos métodos Simplex podem ser encontradas em Braga (1987) e em Labadie (1998).

#### 3.4.4.2 Programação Dinâmica

Próxima à popularidade da PL, a PD tem sido uma técnica de otimização muito aplicada a problemas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, no geral, e à operação de reservatórios, no particular (YAKOWITZ, 1982, *apud* LABADIE, 2004).

O princípio básico da programação dinâmica é subdividir o problema a ser solucionado em etapas mais simples, evitando a resolução do problema complexo de uma vez (BRAGA, 1987). A linha de raciocínio geralmente empregada para a solução de problemas através da aplicação da PD é a seguinte (BARROS, 1997):

- inicialmente, o problema principal é dividido em estágios e para cada um dos estágios determina-se a solução ótima;
- através de uma função recursiva (relação de recorrência), o ótimo de um estágio é relacionado com o estágio seguinte (PD progressiva) ou com o estágio anterior (PD regressiva);
- o ótimo global é obtido percorrendo-se todos os estágios.

Uma propriedade importante da programação dinâmica é que, conhecido o estado do problema analisado em algum estágio, pode-se determinar a política ótima futura sem levar em consideração o que já ocorreu em estágios passados. Essa característica da PD é chamada de Princípio da Otimalidade e decorre do fato de que o estado atual do sistema incorpora todas as informações prévias decorrentes das decisões tomadas no passado. A grande desvantagem dos modelos de PD é a dimensionalidade dos problemas. Loucks *et al.* (1981) apontam que a dimensão de um problema de PD cresce linearmente com o número de estágios, mas exponencialmente com o número de variáveis de estado. Este problema ficou conhecido como a “maldição” da dimensionalidade.



### 3.4.4.3 Programação Não Linear

A PNL tem como grande vantagem a sua abrangência. Uma vez elaborado o modelo matemático que descreva o sistema a otimizar, normalmente nenhuma simplificação é necessária em termos de formulação, o que aumenta a precisão dos resultados a serem obtidos. Em contrapartida, as principais desvantagens são relacionadas a não garantia de obtenção da solução ótima global (CIRILO, 1997).

A velocidade de processamento tem deixado de ser um fator crítico à PNL devido, principalmente, aos constantes avanços em termos de capacidade de processamento dos computadores pessoais; porém, ainda é possível verificar na literatura a existência de uma grande vantagem, em termos de desempenho, dos métodos de PL em relação à PNL.

Importantes contribuições sobre modelos de PNL e suas aplicações em sistemas de recursos hídricos são apresentadas nos trabalhos de Yeh (1985), Simonovic (1992), Wurbs (1993), Labadie (2004) e Lima e Lanna (2005).

### 3.4.4.4 Programação Não Linear Separável por Partes

Na análise de sistemas de recursos hídricos é comum estabelecer uma função objetivo não linear sujeita a um conjunto de restrições lineares. Uma forma de tratar problemas desse tipo é dividir a função objetivo em partes, denominada de Programação Não Linear Separável por Partes (PNLSP). Marins e Perin Filho (1996) apresentam várias aplicações desse método. Os autores observam que os modelos lineares equivalentes obtidos possuem um número muito maior de variáveis e restrições que o modelo não linear original, pois estes métodos definem ao menos uma variável ou restrição adicional para cada termo linear de todas as parcelas que formam a função objetivo separável.

Um problema é dito separável quando pode ser expresso como soma de funções de variáveis simples. O problema mostrado na Equação 3.7 é separável, pois pode ser

expresso como a soma de outras duas funções, em função de  $x_1$  e  $x_2$ , conforme a Equação 3.8 (STEFANOV, 2001).

$$f(x_1, x_2) = x_1^2 + 4x_2 \quad (3.7)$$

$$f(x_1, x_2) = f_1(x_1) + f_2(x_2) \quad (3.8)$$

Onde:

$$f_1(x_1) = x_1^2 \quad (3.9)$$

$$f_2(x_2) = 4x_2 \quad (3.10)$$

Para que seja possível resolver a Equação 3.9 utilizando ferramentas de programação linear, é necessário linearizar a função. Isso pode ser feito introduzindo pontos de grade e dividindo-a em trechos lineares. Existem alguns métodos de linearização conhecidos, descritos e detalhados em Ho (1985), Fourer (1992) e Stefanov (2001).

A aplicabilidade da PNLSP a sistemas de recursos hídricos é citada e discutida em Loucks *et al.* (1981), Braga (1987) e Labadie (2004). A programação separável e a linearização de função objetivo já foram aplicadas ao dimensionamento de sistemas de recursos hídricos de grande porte no nordeste brasileiro (SANTANA, 1998).

### 3.4.5 Modelos de Rede de Fluxo

Os Modelos de Rede de Fluxo (MRF) misturam características dos modelos de simulação e otimização (PORTO e AZEVEDO, 1997). Como já vimos, nos modelos de otimização, os vários aspectos de um problema são considerados analiticamente em uma função objetivo que é maximizada ou minimizada, sujeita a determinadas restrições, e visam a busca de soluções ótimas, ou famílias de soluções ótimas, utilizando algoritmos de programação linear, programação não linear e programação dinâmica. Já nos modelos de simulação, não existe a preocupação de encontrar a melhor solução, mas sim de verificar o comportamento do sistema frente a variados cenários (BRAGA *et al.*, 1998).

Os MRF têm sido bastante utilizados na análise de sistemas de recursos hídricos de elevada complexidade, onde a água pode ser alocada de diferentes formas,

contemplando distintos usos. O sistema é representado por um conjunto de nós e arcos. Os nós normalmente representam pontos de controle e de balanço como reservatórios, demandas, confluências e derivações. Já os arcos representam os canais, trechos de rio, adutoras e outras estruturas semelhantes que possibilitam a conexão entre os nós. Cada arco é caracterizado pelos limites inferior e superior de vazão a ele associados e por um custo aplicado a cada unidade de fluxo que nele transita. Esses custos normalmente representam valores monetários ou econômicos, mas também podem ser expressos na forma de fatores de ponderação adimensionais que refletem um determinado sistema de prioridades, baseado, por exemplo, em uma estrutura de direitos de uso da água ou, simplesmente, em preferências manifestadas pelo usuário (BRIGAGÃO, 2006). Os custos ou prioridades associadas às vazões é que permitem o uso de algoritmos de otimização para minimizar o custo total da rede.

O MODSIM<sup>®</sup>, apresentado por Labadie (1988), é um modelo de simulação em rede de fluxo que realiza uma otimização em cada intervalo de tempo, utilizando o algoritmo *Out-of-Kilter*, de programação linear, para determinar qual a alocação de vazões que conduz a um mínimo custo em toda rede. O modelo é utilizado no SAD Acquanet<sup>®</sup>, já citado anteriormente na seção 3.4.2.

Abaixo, é apresentada a função objetivo do problema resolvido pelo algoritmo.

$$\min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} \cdot q_{ij} \quad (3.11)$$

Onde:

$q_{ij}$  é a vazão média entre o nó  $i$  e o nó  $j$  durante o intervalo de tempo;

$c_{ij}$  é o custo unitário associado à vazão  $q_{ij}$ .

Sujeito à satisfação do balanço de massa em todos os nós  $j = 1, 2, \dots, N$ .

$$\sum_{i \in I_j} q_{ij} - \sum_{k \in O_j} q_{jk} = 0 \quad (3.12)$$

Onde:

$I_j$  é conjunto de todos os nós com arcos que terminam no nó  $j$ ;

$O_j$  é conjunto de todos os nós com arcos que se originam no nó  $j$ .

Garantindo a vazão mínima em todos os arcos (i, j).

$$q_{ij} \geq L_{ij} \quad (3.13)$$

Onde:

$L_{ij}$  é a vazão mínima no arco (i, j).

E satisfazendo a vazão máxima em todos os arcos (i, j).

$$q_{ij} \leq U_{ij} \quad (3.14)$$

Onde:

$U_{ij}$  é a vazão máxima no arco (i, j).

Geralmente, a otimização dos MRF é executada a cada intervalo de tempo, de forma sequencial. O intervalo mensal é, usualmente, o mais utilizado para os problemas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, embora a técnica seja aplicável a intervalos mais curtos.

### 3.4.6 Pacotes Computacionais de Modelagem Matemática

Com a tecnologia atual, é possível desenvolver poderosos SAD utilizando programas aplicativos disponíveis no mercado, com vastas bibliotecas de modelos e algoritmos de otimização, e de baixo custo ou com licenças acadêmicas gratuitas. Esse fato diminui, consideravelmente, a necessidade de trabalho para desenvolver novos modelos e permite concentrar esforços na integração dos módulos, na aquisição de informações e conhecimentos sobre os sistemas e, principalmente, no relacionamento do SAD com o usuário final.

Os pacotes computacionais de modelagem matemática são utilizados em muitas áreas de aplicação, como a indústria petrolífera, a indústria química, a produção de aço e o agronegócio, sobretudo para modelagem e resolução de problemas logísticos. São compostos por pelos menos um dos componentes abaixo.

- **Application Programming Interface (API):** é uma biblioteca de programação, um conjunto de rotinas e padrões estabelecidos por

um programa computacional para a utilização das suas funcionalidades por aplicativos de terceiros que não pretendem se envolver em detalhes da implementação, mas apenas utilizar seus serviços. Por exemplo, é possível desenvolver um SAD que utiliza a API de um pacote computacional externo para executar um determinado algoritmo de otimização já reconhecido pelo mercado.

- ***Integrated Development Environment (IDE)***: é uma aplicação que oferece recursos abrangentes a programadores de computador para desenvolvimento de outros aplicativos. Um IDE normalmente consiste de um editor de código fonte com ferramentas de automação e depuração para tornar o trabalho de codificação mais rápido e fácil. A maioria dos IDE modernos oferecem interfaces gráficas e recursos inteligentes para geração de código.
- ***Algebraic Modeling Languages (AML)***: são linguagens de programação de computador para descrever e resolver problemas matemáticos. A grande vantagem das linguagens de modelagem algébrica é a semelhança de sua sintaxe com a notação matemática de problemas de otimização, o que permite a definição concisa e legível dos problemas, suportada por alguns elementos de linguagem, como conjuntos, índices, expressões algébricas, variáveis, restrições, decisões e metas.
- ***Solver***: é a implementação de algoritmos utilizados para solucionar problemas matemáticos, sendo conhecidos como rotinas ou simplesmente solucionadores. A ênfase está na criação de programa ou biblioteca que possa ser facilmente aplicado a outros problemas similares.

A seguir, são apresentados alguns dos principais pacotes computacionais de modelagem matemática disponíveis atualmente.

- ***GLPK (GNU Linear Programming Kit)***: é um pacote de distribuição gratuita destinado a resolver problemas de larga escala de programação linear, oferecendo uma biblioteca de rotinas que podem ser chamadas por aplicações externas (MAKHORIN, 2009).
- ***OR-Tools (Operations Research Tools)***: é um projeto da Google®, que hospeda ferramentas de otimização desenvolvidas e disponibilizadas com código aberto, tornando possível que outros desenvolvedores tenham acesso

ao código fonte e possam contribuir para o seu aperfeiçoamento. O projeto também possui integração com solucionadores terceiros, com código fechado, permitindo a comparação entre os diversos métodos de resolução de problemas de otimização (OMME *et al.*, 2013).

- **LPSOLVE:** é outro pacote de distribuição gratuita para resolução de problemas de otimização lineares com base no método Simplex. Trata-se de uma biblioteca com um conjunto de rotinas que podem ser chamadas a partir de praticamente qualquer linguagem de programação (BERKELAAR, 2013).
- **Gurobi® Optimizer:** é um pacote computacional com diversas implementações de algoritmos de otimização de altíssimo desempenho e sem limitações de escala, podendo resolver modelos com milhões de variáveis e restrições, mesmo em computadores pessoais. Gurobi® tem sido consistentemente a empresa líder no desenvolvimento de solucionadores de alto desempenho. Em quatro anos, aumentou a eficiência de seu principal algoritmo de programação linear em 21 vezes. Assim como o LPSOLVE, os algoritmos da Gurobi® estão disponíveis para as principais ferramentas de modelagem matemática, como AIMMS®, AMPL®, GAMS®, LINGO®, MPL® e Microsoft® Solver Foundation (GUROBI OPTIMIZATION, 2013).
- **AIMMS® (*Advanced Interactive Multidimensional Modeling System*):** é um ambiente de desenvolvimento integrado, com um IDE rico em recursos, permitindo a modelagem de dados e a criação de interfaces gráficas para os usuários finais. O pacote permite a criação de soluções completas em uma fração do tempo exigido por outras ferramentas, graças a uma linguagem própria que dispensa conhecimentos técnicos de programação (ROELOFS e BISSCHOP, 2013).
- **AMPL® (*A Mathematical Programming Language*):** é uma linguagem de modelagem algébrica, desenvolvida no Bell Laboratories, abrangente e poderosa para problemas lineares e não lineares. AMPL® permite formular modelos de otimização e examinar soluções, enquanto o computador gerencia a comunicação com os algoritmos solucionadores mais apropriados. AMPL® é utilizado por um grande número de clientes corporativos e também por agências governamentais e instituições acadêmicas (FOURER *et al.*, 2003).

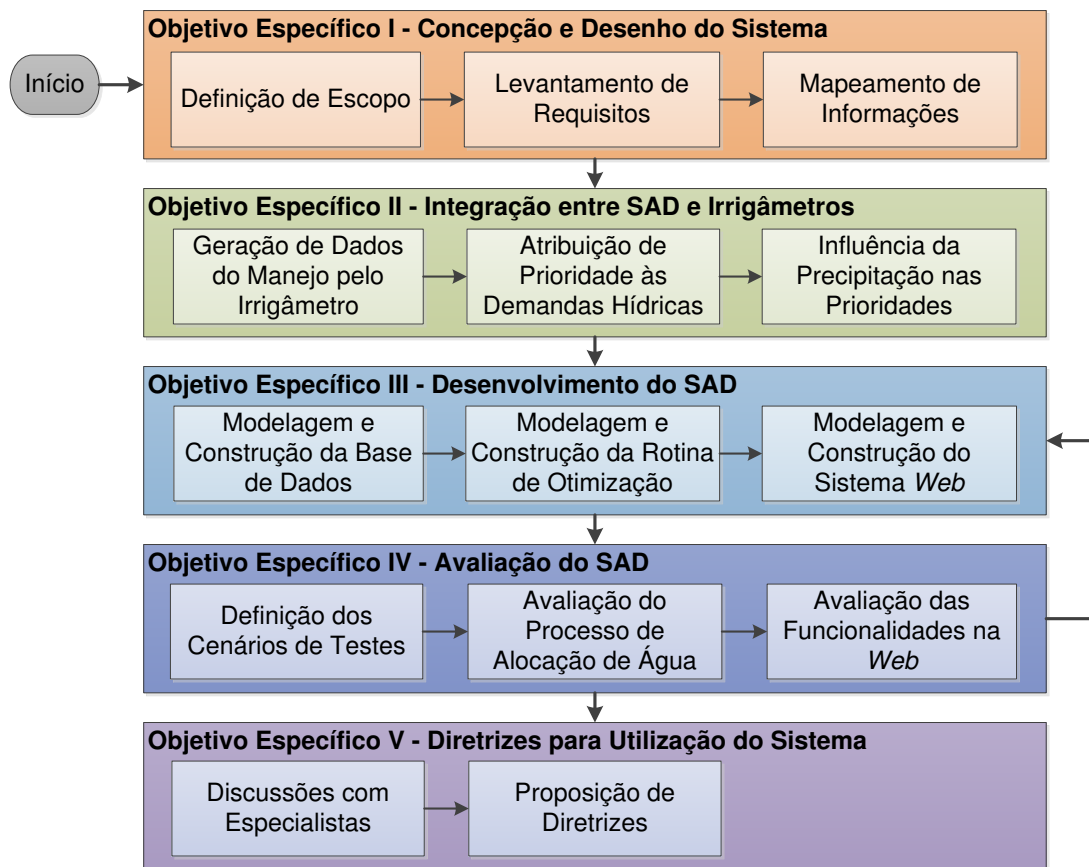
- **GAMS® (*General Algebraic Modeling System*):** é um sistema de modelagem de alto nível para problemas complexos de otimização, permitindo que sejam desenvolvidos, através de IDE próprio, modelos sustentáveis que podem ser adaptados rapidamente a novas situações. GAMS® foi a primeira linguagem de modelagem algébrica (ROSENTHAL, 2014).
- **LINGO®:** é um pacote integrado que inclui uma linguagem de modelagem algébrica própria, um ambiente de modelagem e um conjunto de algoritmos solucionadores embutidos. Dentre suas principais funcionalidades está a capacidade de integração com diversas fontes de dados, como planilhas de cálculo e bases de dados (SCHRAGE, 2006).
- **MPL® (*Mathematical Programming Language*):** é um sistema que permite ao desenvolvedor formular modelos de otimização complexos, de forma clara, concisa e eficiente. Os modelos desenvolvidos em MPL® podem ser resolvidos com qualquer um dos vários *solvers* comerciais disponíveis atualmente no mercado (MAXIMAL SOFTWARE, 2014).
- **Microsoft® Solver Foundation:** é a solução da Microsoft® para modelagem e otimização matemática. O pacote computacional inclui uma linguagem de modelagem algébrica para especificação dos modelos de otimização e uma API que pode ser utilizada por aplicações externas para geração de modelos dinâmicos, em tempo de execução, e para a chamada de solucionadores de terceiros. A grande vantagem do Solver Foundation está na sua integração com ferramentas familiares como o Microsoft® Office Excel para criar e resolver modelos. Os modelos desenvolvidos podem ser integrados a aplicações *web*, utilizando outros pacotes computacionais da Microsoft®, como o Visual Studio (MICROSOFT, 2014a).





## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A estratégia adotada no desenvolvimento do sistema de apoio à decisão para alocação de água na agricultura irrigada contemplou cinco macro atividades, diretamente relacionadas aos cinco objetivos específicos do projeto. O fluxograma a seguir (Figura 4.1) apresenta este plano de ação, com todas as subatividades realizadas para se alcançar os objetivos propostos.



**Figura 4.1 – Estratégia de ação para o desenvolvimento do sistema de apoio à decisão**

As atividades de avaliação e testes geraram diversos insumos para a revisão da modelagem e da construção do SAD. Esta realimentação, muito comum no desenvolvimento de sistemas, está representada no fluxo de trabalho. Foram utilizadas diversas ferramentas e técnicas computacionais já conhecidas, acompanhando os avanços científicos e tecnológicos na área de Tecnologia da Informação aplicada à Gestão de Recursos Hídricos. A metodologia é aplicável a qualquer bacia hidrográfica. De forma estratégica para o desenvolvimento e avaliação do sistema, foi utilizada uma microbacia hipotética, onde foi possível a realização de simulações abrangendo todo o escopo definido para o sistema.

## 4.1 CONCEPÇÃO E DESENHO DO SISTEMA

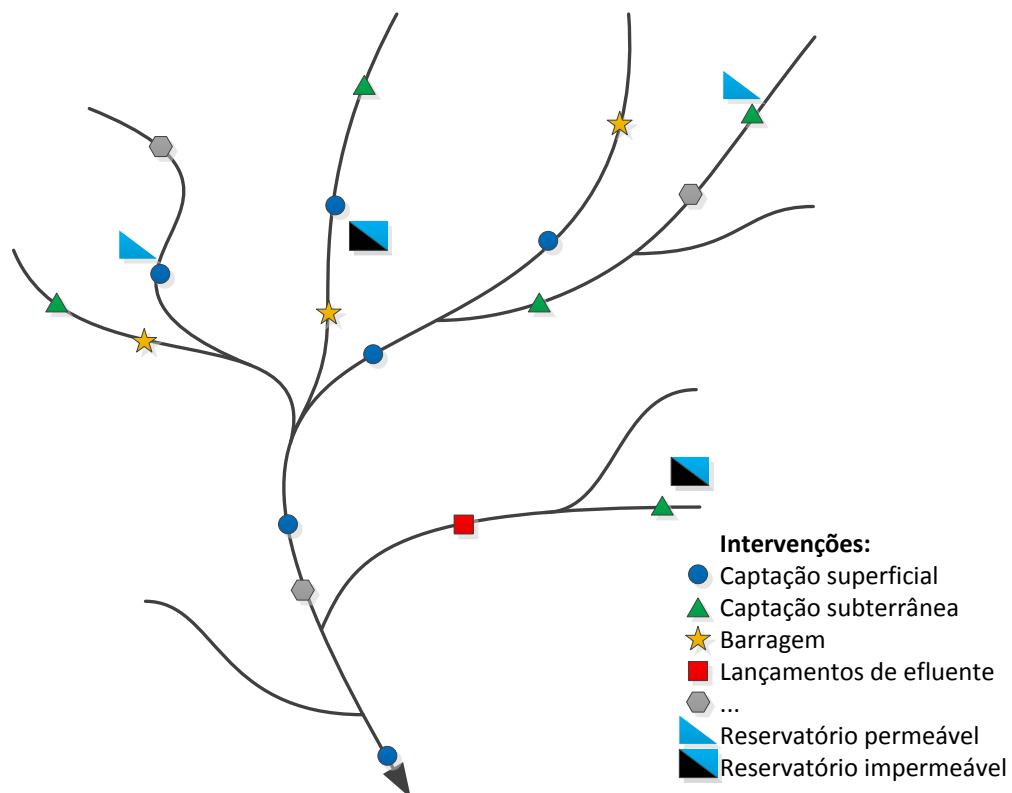
A fase Concepção e Desenho do Sistema foi iniciada pelo diagnóstico das atuais dificuldades de implementação da gestão local de recursos hídricos em microbacias, cujos principais usuários são pequenos produtores rurais de base agrícola familiar. Este diagnóstico inicial teve por finalidade delimitar o escopo a ser coberto pelo sistema de informações. Partindo desta Definição de Escopo, foram identificados os requisitos funcionais e operacionais, ou seja, as informações necessárias para a implementação do sistema, as interfaces de comunicação com os usuários e as regras de operação diária. Após o Levantamento de Requisitos, foi iniciada a atividade de Mapeamento de Informações, com o detalhamento das informações previamente levantadas, identificando suas origens, relacionamentos, usos, responsáveis, acessibilidade e demais regras de gestão de dados.

### 4.1.1 Definição de Escopo

Partindo da representação de uma microbacia genérica com várias finalidades de uso da água e distintas intervenções ao longo da rede hidrográfica (Figura 4.2), foram identificadas as principais dificuldades técnicas, comumente encontradas, relacionadas à obtenção das informações de disponibilidade hídrica e demandas hídricas necessárias para o cálculo de alocação de água, pré-requisito para que a gestão local aconteça de forma efetiva.

- Pequena ou inexistente rede de monitoramento de vazões, dificultando a gestão da disponibilidade hídrica nos pontos de captação.
- Ausência de instrumentos de aferição das reservas hídricas subterrâneas para contabilização no cálculo de disponibilidade para a bacia.
- Ausência de instrumentos de gestão de reservatórios para monitoramento das reservas, controle da operação e identificação de usuários atendidos.
- Pequena ou inexistente rede pluviométrica para acompanhamento dos índices de precipitação diários.
- Baixa qualidade das previsões de precipitação, quando existentes.

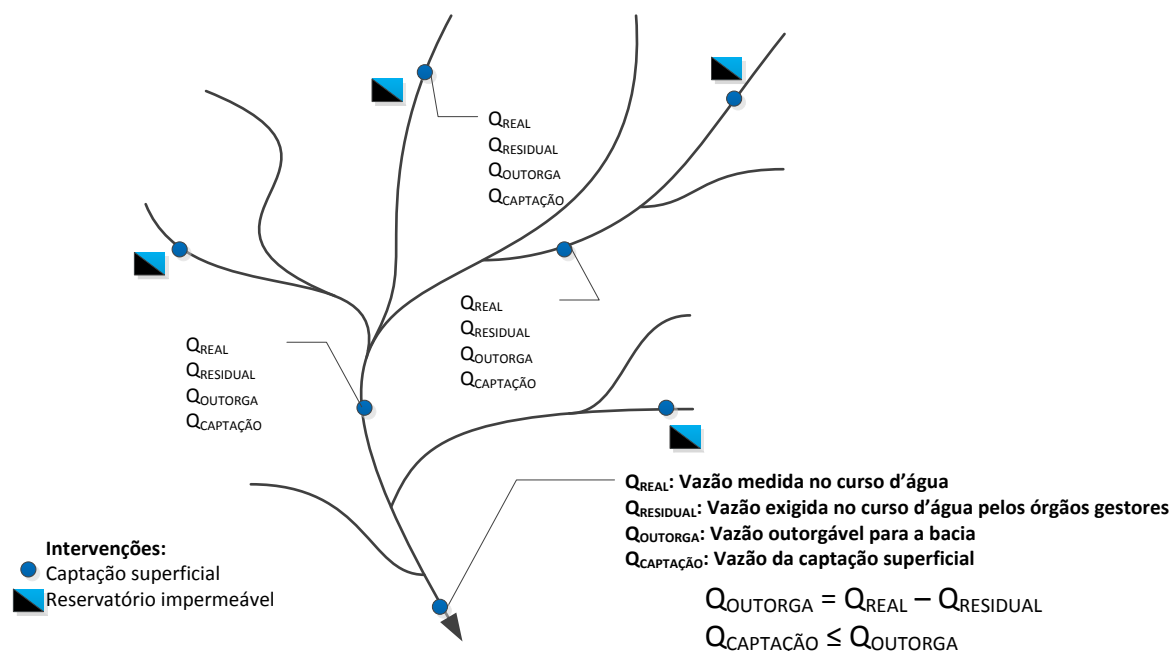
- Ausência de instrumentos de manejo de irrigação para gestão das demandas hídricas de cada cultura da região, considerando as perdas por evapotranspiração e a sazonalidade na produção agrícola.
- Grande complexidade na gestão das demandas hídricas ao envolver todas as finalidades de uso (dessedentação animal, abastecimento público, aproveitamento hidrelétrico, indústria, lazer, etc.).
- Grande complexidade na gestão das intervenções (captações superficiais e subterrâneas, barragens, lançamentos de efluentes, etc.) e seus impactos na disponibilidade hídrica da região.



**Figura 4.2 – Representação de microbacia genérica e suas intervenções hídricas**

Como o foco deste trabalho é o desenvolvimento de um SAD para alocação de água na agricultura irrigada, foram realizadas simplificações na representação da microbacia para delimitar o escopo dos requisitos (Figura 4.3). O principal ajuste foi a eliminação das demais finalidades de uso da água, reduzindo o esforço para gestão dos recursos hídricos ao assumir que a totalidade das demandas seria proveniente das atividades de irrigação para atendimento à agricultura familiar. No novo cenário, foram mantidos apenas dois tipos de intervenções sobre os recursos hídricos da região: (1) captações superficiais sobre os cursos d'água; e (2)

captações superficiais sobre reservatórios impermeáveis. Com esta simplificação, eliminou-se a necessidade de gestão de barramentos e estruturas de aproveitamento hidrelétrico, captações subterrâneas, lançamentos de efluentes e respectivos impactos na qualidade da água, e trocas hídricas com o solo através de reservatórios permeáveis ou outras reservas hídricas subterrâneas.

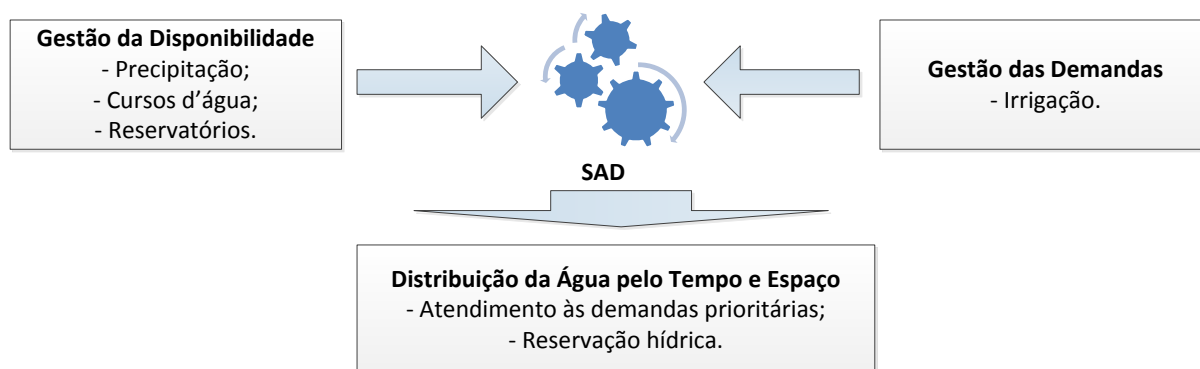


**Figura 4.3 – Representação de microbacia simplificada com o escopo do trabalho**

Com base na revisão bibliográfica apresentada e na experiência dos pesquisadores do Laboratório de Gestão de Recursos Hídricos e Desenvolvimento Regional (LabGest) a que este projeto está integrado, as dificuldades inicialmente apresentadas para controle de disponibilidade e demanda foram analisadas e tratadas para o projeto. O irrigâmetro foi selecionado para gestão das demandas hídricas de cada cultura da microbacia, fornecendo os dados de evapotranspiração e precipitação a cada operação do aparelho. Para a gestão da disponibilidade hídrica, foi acordada a necessidade de acompanhamento dos volumes úteis de cada reservatório e a implantação de ao menos um fluviômetro, na foz da microbacia, para monitoramento da vazão passível de distribuição. A vazão a ser respeitada em um processo de outorga coletiva é a vazão residual, vazão que deve permanecer no curso d'água depois de descontadas todas as captações. Assim, a vazão de outorga ou vazão disponível para outorga deve ser calculada diariamente, observando a vazão real no curso d'água medida pelo fluviômetro e a vazão residual exigida pelo órgão gestor, conforme apresentado na Figura 4.3. Este cálculo pode ser realizado

em outros pontos de controle, além da foz, desde que instalados fluviômetros para o monitoramento da vazão real do curso d'água. O somatório das vazões captadas a montante deve ser menor ou igual à vazão disponível para outorga no ponto de controle. O sistema deve ainda considerar a utilização de dados de previsão de precipitação, fornecidos por parceiros, para contabilização no cálculo da disponibilidade hídrica e planejamento de alocação futura entre os usuários caso a informação tenha alta probabilidade de acerto.

Com a região hidrográfica de aplicação do sistema delimitada e a identificação das principais informações necessárias para o SAD, foi possível definir um cenário macro de aplicação, apresentado na Figura 4.4. Neste cenário, as demandas hídricas são contabilizadas pelos irrigômetros distribuídos na região. O cálculo da disponibilidade hídrica da microbacia é realizado com os dados de precipitação (realizada e prevista), de monitoramento dos cursos d'água e de monitoramento dos reservatórios. O SAD, então, é responsável por confrontar disponibilidade e demandas e planejar a distribuição dos recursos outorgáveis ao longo do tempo e do espaço, atendendo às demandas de acordo com as prioridades de cada cultura e controlando a operação dos reservatórios.



**Figura 4.4 – Cenário macro de aplicação do sistema de apoio à decisão com o escopo mínimo**

Ou seja, partindo das necessidades de irrigação de cada propriedade, da vazão outorgada, da disponibilidade hídrica, de dados de previsão de tempo e dos interesses sociais e econômicos da comunidade, o sistema de apoio à decisão deve ser capaz de sugerir diretamente aos proprietários, diariamente ou na frequência desejada, a quantidade de água a ser irrigada em cada propriedade de forma a otimizar a alocação dos recursos hídricos, evitando excessos de utilização por determinados usuários e escassez em outros. Finalmente, o sistema deve apoiar a

discussão entre os usuários da água sobre o seu uso e promover a participação, a colaboração e o consenso em relação ao problema de distribuição da água entre os usuários de uma outorga coletiva, em sintonia com a cogestão e autogestão comunitária de recursos hídricos em nível de microbacia.

Do ponto de vista dos órgãos gestores, além de disponibilizar o planejamento diário de alocação de água por produtor, o sistema deve ser dinâmico e manter sempre atualizado o cenário de utilização dos recursos, servindo como instrumento de controle do processo de outorga coletiva, permitindo consultas históricas nos dados e apoiando na avaliação de impactos na região hidrográfica.

Pretende-se, com a implementação do sistema, sair de uma situação atual de desconhecimento dos recursos disponíveis na microbacia para um ambiente integrado, com uma visão ampla de toda a região hidrográfica, garantindo o atendimento das demandas segundo priorização previamente calculada. A seguir são comparadas algumas das condições esperadas em uma microbacia, antes e depois da implantação do sistema, de acordo com o escopo delimitado.

- **Situação da microbacia anterior ao sistema:**

- desconhecimento dos impactos de cada uso sobre os demais;
- desconhecimento da demanda hídrica total da região;
- desconhecimento da disponibilidade de água total da região;
- desrespeito às exigências de outorga definidas pelos órgãos gestores;
- má distribuição dos recursos ao longo do tempo e espaço;
- preocupação no atendimento de demandas isoladas, sem conhecimento das prioridades de cada cultura da região hidrográfica.

- **Situação da microbacia com a utilização do sistema:**

- gestão automatizada de disponibilidade e demandas em toda a região;
- busca pelo atendimento a todas as demandas da microbacia;
- melhor aproveitamento da água disponível ao longo da rede hidrográfica, através da distribuição do uso ao longo do tempo e espaço, com possibilidade de reserva hídrica;
- atendimento às exigências de outorga definidas pelos órgãos gestores, através da manutenção de vazão residual nos pontos de controle;

- utilização de dados de precipitação (realizada e prevista) para composição da disponibilidade hídrica;
- informação e conhecimento disponíveis para todos os envolvidos na gestão, favorecendo planejamentos futuros.

#### 4.1.2 Levantamento de Requisitos

Na revisão bibliográfica deste projeto é apresentada a fundamentação teórica deste trabalho. As principais fontes consultadas foram legislações, livros e publicações científicas que viabilizassem subsídios para a conceituação, caracterização e aperfeiçoamento da alocação negociada de água entre pequenos produtores rurais de base agrícola familiar levando em consideração os interesses sociais e econômicos da comunidade, da utilização de irrigômetros como ferramenta de manejo de irrigação e de sistemas de apoio à decisão, em especial os modelos e algoritmos de otimização e simulação como é o caso do modelo de rede de fluxo utilizado para alocação ótima de água entre múltiplos usos.

Nesta etapa, com base na fundamentação teórica apresentada, foi realizado o levantamento dos requisitos do sistema computacional a ser desenvolvido. Para isso foi necessário identificar todas as informações que deveriam integrar o sistema de apoio à decisão, seja para a realização dos cálculos de alocação de água ou para a simples consulta pelos usuários. Na Figura 4.5 são apresentados os principais requisitos funcionais do sistema de apoio à decisão.

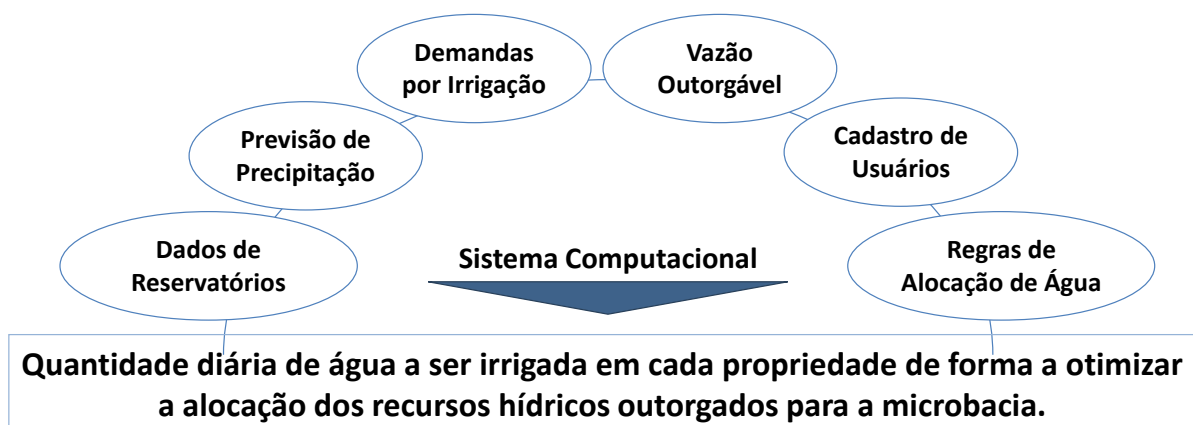


Figura 4.5 – Principais requisitos funcionais do sistema de apoio à decisão

Visando o atendimento aos objetivos do projeto, o sistema contemplou as informações administrativas e cadastrais dos usuários e propriedades, informações meteorológicas para previsão da ocorrência de chuvas na região e as vazões outorgadas pelo órgão gestor para o cálculo do balanço hídrico, além é claro, das informações fornecidas pela operação diária dos irrigâmetros, conforme já mencionado anteriormente.

A automatização das rotinas de simulação e otimização utilizando os modelos de rede de fluxo é que permitirá à ferramenta apoiar a decisão sobre a alocação de água na comunidade, principalmente pela flexibilidade na definição de funções de prioridades para as demandas hídricas e pela facilidade na representação de redes hidrográficas.

Além de gerenciar a quantidade de água alocada a cada cultura da microbacia, o sistema também deverá apoiar a discussão entre os usuários da água sobre o seu uso e promover a participação, a colaboração e o consenso. Justificando este caráter participativo, foram realizadas reuniões com especialistas e instituições parceiras do LabGest visando enriquecer a fundamentação teórica para este trabalho, confirmando o escopo e requisitos levantados para o sistema, agregando contribuições dos futuros usuários, refinando a metodologia a ser aplicada para atendimento às demandas locais e mobilizando os atores para garantir o apoio ao projeto. A Tabela 4.1 apresenta, de forma resumida, informações referentes à realização destas reuniões.

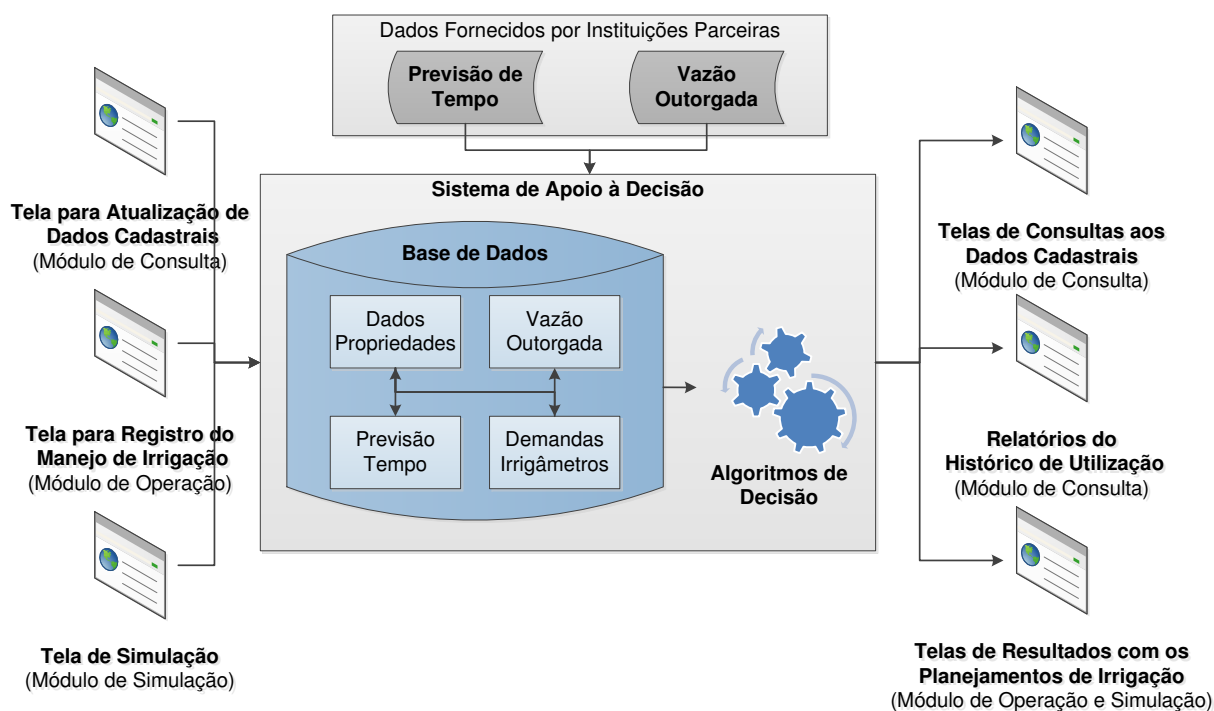
**Tabela 4.1 – Reuniões realizadas com especialistas e órgãos parceiros do LabGest**

<b>Data</b>	<b>Local</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Participantes</b>
21/02/2014	Incaper, Itarana-ES	Análise de especialistas com atuação local (Projeto Sossego)	2
21/02/2014	Incaper, Itarana-ES	Análise de especialistas em manejo de irrigação	3
26/02/2014	Incaper, Vitória-ES	Análise de especialistas em meteorologia	4
27/02/2014	IEMA, Cariacica-ES	Análise de especialistas em outorga e outorga coletiva	13

Dentre os requisitos operacionais do sistema, inicialmente, foi identificada a necessidade de três grandes módulos ou visões: (1) Consulta; (2) Operação; e (3) Simulação. A etapa de levantamento de requisitos foi responsável pelo



detalhamento das telas e funcionalidades a serem construídas para cada um destes módulos. A Figura 4.6 apresenta, de forma simplificada, as entradas e saídas do sistema de informações e a sua modularização.



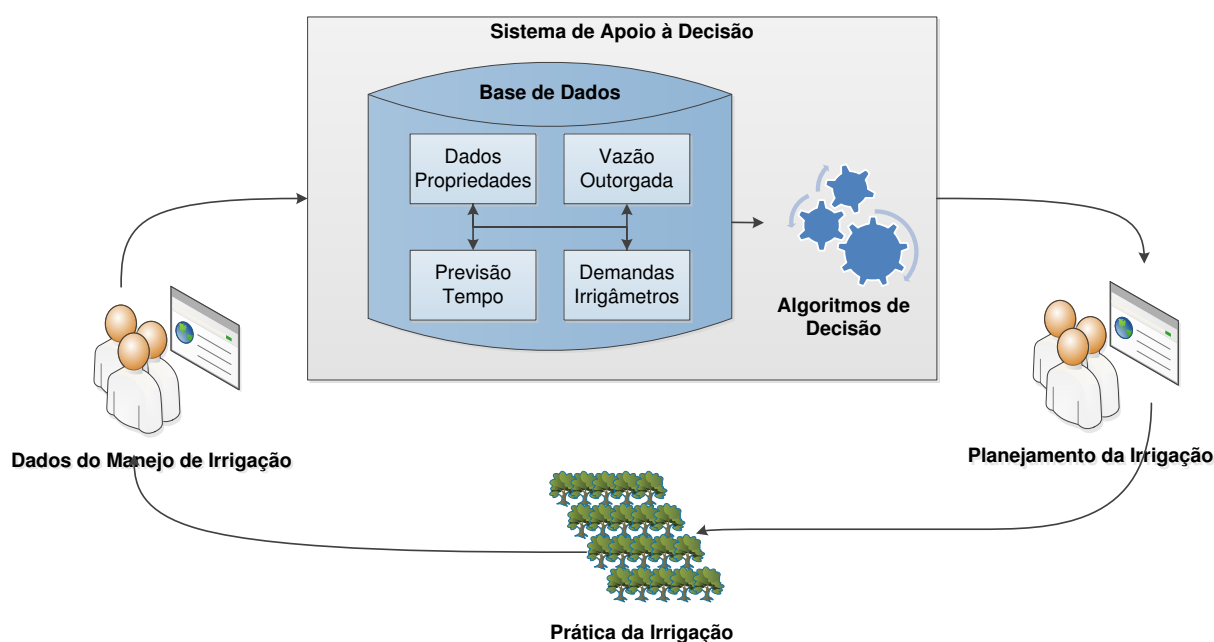
**Figura 4.6 – Modularização do sistema de apoio à decisão, suas entradas e saídas**

O módulo Consulta prevê a confecção de telas para consultas e atualização dos dados cadastrais das propriedades e usuários. Neste módulo também estão incluídos os relatórios com o histórico de operação do manejo de irrigação, disponibilidade hídrica, demandas, previsões meteorológicas e decisões sobre alocação dos recursos hídricos registradas no sistema. Esses relatórios permitirão verificar, entre outras coisas, a aderência das ações praticadas pelos proprietários com os planejamentos de irrigação sugeridos pelo sistema.

O módulo Operação deve ser utilizado no dia a dia do produtor e será responsável por registrar os dados de acompanhamento do irrigâmetro e sugerir o planejamento de irrigação utilizando os algoritmos de otimização. Portanto, é necessária a disponibilização de uma tela para o produtor rural registrar a operação de irrigação realizada no dia anterior e informar a atual leitura dos irrigâmetros. O resultado do planejamento de irrigação, informando os períodos em que cada sistema de irrigação permanecerá ligado, será disponibilizado em outra tela, após todos os produtores informarem os dados do manejo de irrigação.

No módulo Simulação, deverão ser disponibilizadas interfaces para manipulação das diversas variáveis envolvidas no processo de tomada de decisão. Ou seja, será possível avaliar os resultados gerados pelo sistema através da simulação de cenários distintos, por exemplo, alterando as informações de leitura dos irrigômetros, vazão outorgada, previsão de tempo e informações cadastrais de propriedades e usuários. O módulo de simulação do sistema também permitirá a realização de testes de variados cenários com a comunidade, onde poderá ser discutida cada decisão tomada nas mais variadas situações de escassez e conflitos.

Diariamente, os produtores deverão informar, via sistema (módulo Operação), os dados relativos à irrigação praticada no dia anterior e a leitura atual do irrigômetro. Após todos os produtores registrarem estas informações, o sistema automaticamente irá gerar o planejamento de irrigação para cada propriedade utilizando as regras definidas na função de prioridade do modelo de rede de fluxo, a vazão outorgada, as demandas de cada cultura e a previsão de chuvas para o dia. Será importante definir com os usuários um horário limite para que os apontamentos sejam realizados, bem como o horário de consulta do planejamento disponibilizado pelo sistema. Após consultar os planejamentos sugeridos pelo sistema, cada usuário ainda terá a opção de seguir ou não a agenda. No dia seguinte deverão informar exatamente as informações relacionadas à irrigação praticada e novamente informar a leitura do irrigômetro, continuando o ciclo de operação (Figura 4.7).



**Figura 4.7 – Ciclo diário de operação do sistema de apoio à decisão pela comunidade**

A operação diária do sistema permitirá ações de fiscalização ao consultar as práticas de irrigação registradas e facilitará também o gerenciamento das imposições acordadas para a aplicação da outorga coletiva, verificando o nível de colaboração entre os usuários.

#### **4.1.3 Mapeamento de Informações**

A construção do modelo de banco de dados (BD) para armazenar e gerenciar o grande volume de informações necessárias ao sistema exigiu um conhecimento profundo sobre a aplicação do instrumento outorga e outorga coletiva. No processo de modelagem, iniciado pelas etapas de mapeamento dos processos afetos a outorga e sistematização das variáveis geográficas, hidrológicas e administrativas, houve preocupação constante em harmonizar a complexidade das informações com a simplificação necessária à padronização e eficiência do BD.

Na etapa de mapeamento de informações foram analisadas as práticas operacionais e os trâmites administrativos na aplicação do instrumento outorga de uso dos recursos hídricos. Foram estabelecidos contatos e realizadas discussões com profissionais de órgãos gestores estaduais a fim de conhecer a aplicação do instrumento e estudar, aprofundadamente, as informações disponíveis para regulação do uso da água. Este conhecimento diz respeito aos passos para aplicação do instrumento outorga e outorga coletiva, desde o preenchimento dos formulários pelos requerentes, até o monitoramento das outorgas ativas pelos órgãos gestores, com ênfase nos critérios para análise dos processos de outorga. Com este propósito, foram levantados e analisados diversos documentos, como formulários de outorga, roteiros técnicos, resoluções administrativas e técnicas, *softwares* de apoio à decisão e dados coletados em campo em formulários de vistorias e fiscalização.

O mapeamento das informações administrativas e cadastrais de usuários necessários ao sistema foi baseado, principalmente, nos formulários utilizados pelos órgãos gestores para cadastramento de usuários e propriedades. O ANEXO A apresenta o formulário de cadastro de usuários para fins de outorga coletiva, em uso, nos processos em andamento, pela Agência Estadual de Recursos Hídricos do

estado do Espírito Santo (AGERH)<sup>1</sup>. O formulário permite identificar os proprietários e as propriedades, conhecer a sua localização, a caracterização das culturas praticadas, a existência de nascentes, a proximidade dos cursos d'água e as condições das entradas, os tipos de captação utilizados (captação superficial a fio d'água ou captações subterrâneas utilizando poços escavados), sistemas de irrigação empregados, cronograma de irrigação mensal e demandas hídricas mensais por cultura. Todos os campos dos formulários de cadastro de usuários foram sistematizados.

As informações relacionadas à previsão meteorológica foram mapeadas em parceria com o Incaper, que já possui grande experiência em pesquisas na área e iniciativas relacionadas ao tema na bacia do Córrego Sossego (Projeto Sossego). Neste mapeamento foram verificadas as fontes de dados, a confiabilidade das previsões de precipitação e como as informações deveriam ser integradas no sistema para auxiliar a tomada de decisão sobre a irrigação em função da probabilidade de incidência de chuvas.

Os irrigômetros também foram mapeados como fontes de dados para o sistema, responsáveis pela indicação da demanda hídrica diária da cultura nas propriedades. Conforme comentado anteriormente, os dados a serem monitorados e coletados diariamente incluem a lâmina de aplicação diária indicada pelo tubo de alimentação, a leitura do pluviômetro, o tempo de irrigação necessário observado na régua temporal e o horário de consulta do produtor ao irrigômetro. Caso o produtor pratique a irrigação, deverá ser monitorado se houve necessidade de reposição de água no tubo de alimentação e os horários de início e fim da operação.

---

<sup>1</sup> A AGERH, criada em 2013, possui como finalidade executar a Política Estadual de Recursos Hídricos, regular o uso dos recursos hídricos estaduais, promover a implementação, gestão das obras de infraestrutura hídrica de usos múltiplos e realizar o monitoramento hidrológico no estado do Espírito Santo. Durante a maior parte das atividades deste trabalho, tais atribuições eram do IEMA, através de diretoria específica de recursos hídricos. Por isso, algumas referências ao IEMA ainda foram preservadas ao longo do texto.

Um dado fundamental para a correta utilização do sistema de apoio à decisão é a vazão outorgada diariamente à comunidade, necessária para a realização do balanço hídrico com as vazões demandadas. As origens das informações de vazões da rede hidrográfica e do nível dos reservatórios também foram escopo da fase de mapeamento.

Várias outras informações foram mapeadas para posterior armazenamento no banco de dados, de forma a oferecer aos gestores total conhecimento para análise de cada processo, como por exemplo, informações geográficas e hidrológicas para representação dos elementos da bacia hidrográfica.

## 4.2 INTEGRAÇÃO ENTRE SAD E IRRIGÂMETROS

Após a identificação de todas as informações necessárias para o sistema de apoio à decisão e definição das regras de operação, foi necessário verificar como as informações obtidas do manejo de irrigação, pela utilização dos irrigâmetros, seriam integradas ao sistema de informações. Esta etapa foi responsável pela definição das regras para atribuição das prioridades de atendimento às demandas hídricas de cada cultura, tendo como origem os dados coletados da operação dos irrigâmetros e de previsões de precipitação para a região hidrográfica.

### 4.2.1 Geração de Dados do Manejo pelo Irrigâmetro

Inicialmente, como parte do processo metodológico, foi necessário conhecer o procedimento de instalação e operação dos irrigâmetros, em campo. Para tanto, foram acompanhadas as atividades realizadas pelo projeto de Lima (2012), que avaliou o desempenho do uso de irrigâmetros para o manejo de irrigação da banana na região do Córrego Sossego, fornecendo subsídios metodológicos e dados reais da operação dos aparelhos pela comunidade, conforme apresentado na seção 3.3.4.1. Os dados foram sistematizados para que pudessem ser utilizados na definição das regras de atribuição das prioridades e em testes e simulações para avaliação das rotinas de otimização do SAD.

Os apêndices (APÊNDICE A, B, C, D e E) apresentam os dados coletados no período de setembro a dezembro de 2012 para as propriedades selecionadas e acompanhadas pelo projeto de Lima (2012) na bacia do Córrego Sossego. Como as culturas já se encontravam em fase final de desenvolvimento, foi utilizada sempre a face 3 das réguas de manejo, conforme Tabela 3.1, apresentada na seção 3.3.4. Além das informações coletadas pelo produtor, também foram geradas as posições das réguas de manejo e temporal após a aplicação da irrigação, tornando possível verificar o estado das réguas antes e depois do funcionamento do sistema de irrigação, diariamente.

Os dados de operação coletados e as demais informações de caracterização das culturas e sistemas de irrigação foram utilizados ao longo do projeto para simulações das rotinas de otimização e validação das regras de atribuição das prioridades às demandas hídricas.

#### **4.2.2 Atribuição de Prioridade às Demandas Hídricas**

A atribuição de prioridade às demandas hídricas de cada cultura consistiu na conversão das cores da régua de manejo dos irrigômetros, em valores numéricos que pudessem ser utilizados pelo sistema para diferenciar o grau de necessidade das culturas pela água num dado momento. As prioridades utilizadas pelo sistema devem permitir que mesmo culturas com uma mesma cor da régua de manejo, num determinado dia, possam ser diferenciadas quanto à criticidade do déficit hídrico.

Nesta etapa, foi importante utilizar as diversas configurações de réguas de manejo e réguas temporais dos irrigômetros, instalados em campo, para a definição de uma regra justa de diferenciação das demandas hídricas e que pudesse ser aplicada a qualquer outra seleção de réguas. Para se alcançar este nível de diferenciação entre as demandas, foi necessário relacionar cada milímetro do tubo de alimentação do irrigômetro com um valor de prioridade distinto. Este valor de prioridade para cada milímetro de decréscimo no nível de água do tubo de alimentação deve ser variável por cultura ou régua de manejo utilizada, acompanhando o código de cores impresso nas réguas.

Após a definição das regras de atribuição das prioridades às demandas hídricas de cada cultura, também se discutiu o momento em que o dado deveria ser registrado no sistema, os responsáveis pela informação, sua correspondência com os valores da régua temporal e a sua atualização durante e ao término da execução das rotinas de otimização para alocação de água.

### **4.2.3 Influência da Precipitação nas Prioridades**

Para utilização dos dados de precipitação na definição das prioridades de cada demanda hídrica, foram consultados especialistas em meteorologia e especialistas em manejo de irrigação. Foram discutidos quais os dados de previsão de precipitação que poderiam ser utilizados para se ajustar às prioridades previamente atribuídas, como este ajuste seria aplicado e sob quais condições as previsões poderiam ser utilizadas minimizando os riscos para a produção agrícola. Além das previsões, os dados de precipitação coletados diariamente pelos pluviômetros instalados também são importantes para se determinar as demandas hídricas das culturas e, conseqüentemente, influenciam no cálculo das prioridades.

Todas as informações mapeadas relacionadas aos dados de precipitação foram analisadas visando a definição de regras a serem implementadas pelas rotinas de otimização do sistema para auxiliar a distribuição da água disponível na região.

## **4.3 DESENVOLVIMENTO DO SAD**

Conforme apresentado na revisão bibliográfica, seção 3.4.2, a estrutura típica de um SAD é composta por três camadas ou componentes: (1) base de dados; (2) modelos matemáticos; e (3) interfaces com os usuários. As atividades de modelagem e construção de cada um dos componentes do sistema são muito distintas e normalmente apoiadas por outras ferramentas computacionais. De modo a refletir esta estrutura, a fase de desenvolvimento do SAD foi subdividida, separando as atividades de modelagem e construção para cada uma de suas camadas, porém, mantendo a preocupação com a integração de todos os componentes da arquitetura.

A seguir serão apresentadas as ferramentas computacionais selecionadas para apoiar o desenvolvimento e os passos executados desde a modelagem até a disponibilização de cada um dos componentes, tendo como insumos as informações e regras resultantes das fases anteriores.

### 4.3.1 Modelagem e Construção da Base de Dados

Nesta etapa foi realizada a sistematização das informações mapeadas em uma base de dados relacional especialmente estruturada para agilizar a execução dos algoritmos de otimização e simulação, e facilitar o uso das funcionalidades de navegação e consultas na *web*. Os grupos informacionais mapeados foram transformados em objetos deste repositório de dados para auxiliar a gestão dos recursos hídricos e apoiar a alocação negociada de água na comunidade.

O SGBDR Oracle®, versão 11g, *Express Edition*, de distribuição gratuita e com a extensão Spatial® para gerenciamento de dados geográficos, foi escolhido para suportar a base de dados do SAD. A Figura 4.8 apresenta a interface disponibilizada pela Oracle® para os usuários administradores da base de dados.

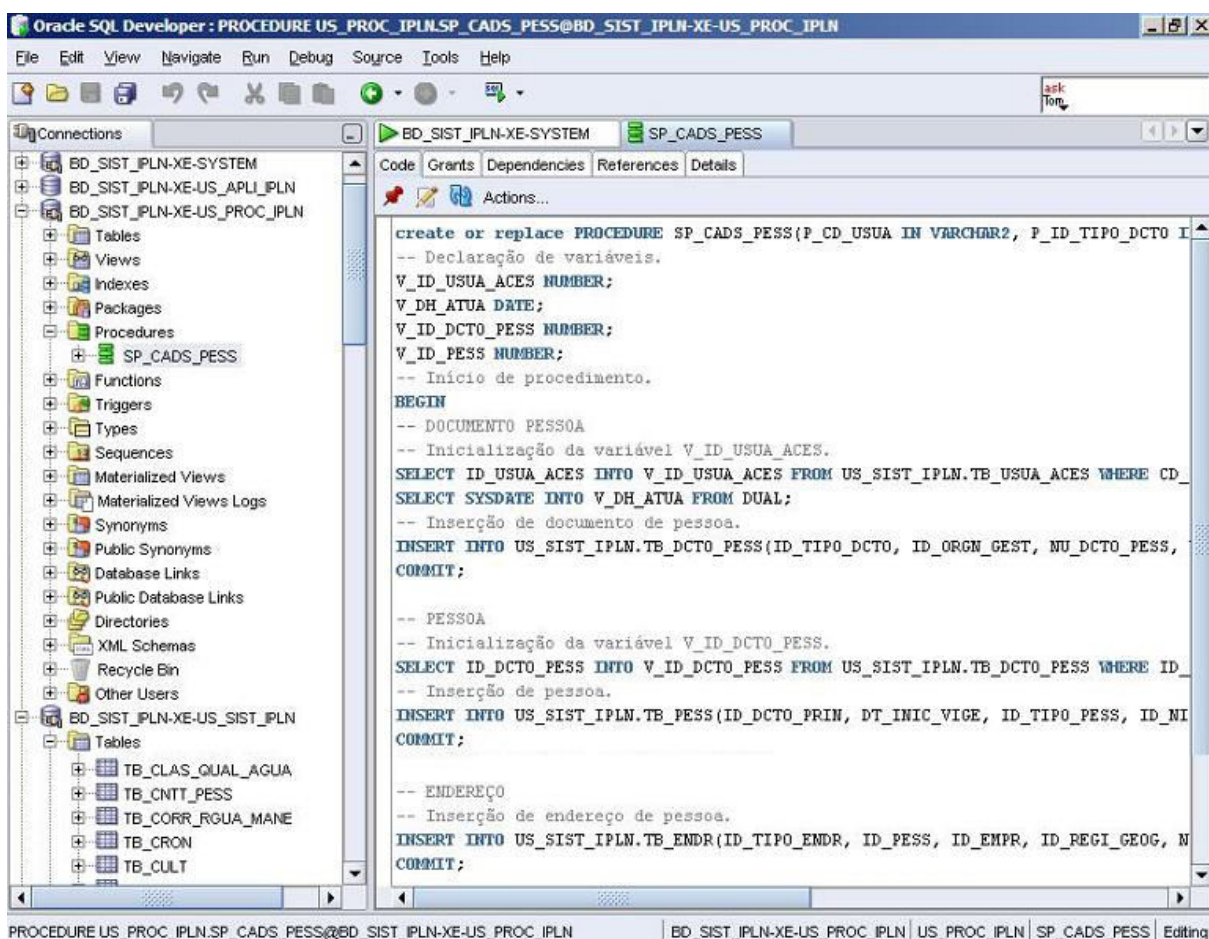


Figura 4.8 – Interface gráfica disponibilizada para tarefas administrativas do SGBDR Oracle®





Para auxiliar a carga inicial das informações e o desenvolvimento dos procedimentos para leitura, inserção, deleção e atualização dos dados, foi utilizada a ferramenta gratuita Oracle® SQL Developer, versão 1.1.6 (Figura 4.10). Trata-se de um ambiente gráfico integrado com a base de dados Oracle® que simplifica o desenvolvimento de rotinas para manipulação de dados (MURRAY, 2007).



**Figura 4.10 – Aplicação Oracle® SQL Developer utilizada para a manipulação da base de dados**

Finalmente, no final desta etapa, foi disponibilizada uma base de dados modelada e carregada com todas as informações estáticas necessárias para o funcionamento do sistema de apoio à decisão. As demais informações que requerem atualização diária, como a operação de sistemas de irrigação, irrigômetros, fluviômetros, reservatórios e previsões de precipitação, também foram modeladas, mas são carregadas e atualizadas através das telas da aplicação web acessadas pelos usuários. As telas estão integradas aos procedimentos da base de dados para leitura, inserção, deleção e atualização dos dados.

### 4.3.2 Modelagem e Construção da Rotina de Otimização

O desenvolvimento das rotinas de decisão sobre a alocação de água na comunidade utilizou como referências a técnica de Programação Linear e os Modelos de Rede de Fluxo, devido a flexibilidade na definição de funções de prioridades para as demandas hídricas e pela facilidade na representação de redes hidrográficas. O bom desempenho, comparado às técnicas de programação não linear, e programação dinâmica, mesmo para grande número de variáveis, o que é comum na otimização de sistemas de grande porte, também é um fator que torna a técnica de PL e os MRF atraentes. Além disso, conforme apresentado na seção 3.4.4, as recentes pesquisas e avanços nas técnicas de resolução de problemas de programação linear têm incentivado o desenvolvimento de uma grande variedade de pacotes de otimização cada vez mais eficientes, muitos deles disponíveis gratuitamente.

Inicialmente, tendo como referência a função objetivo e restrições apresentadas na seção 3.4.5 para os modelos de rede de fluxo (Equações 3.11 a 3.14), o problema de otimização foi modelado. Todos os parâmetros de entrada, constantes, variáveis, funções de restrição e função objetivo foram representados matematicamente, utilizando técnicas para linearização e simplificação.

Após a formulação matemática do problema, foi realizada a modelagem computacional da rotina de otimização. Dentre os pacotes computacionais disponíveis para modelagem matemática, o Microsoft® Solver Foundation foi escolhido, principalmente, pela sua integração com a ferramenta de planilha eletrônica da Microsoft®, amplamente difundida e de fácil utilização (Figura 4.11). A modelagem, construção e testes das rotinas são totalmente realizados utilizando os recursos do Microsoft® Excel, sendo possível criar tabelas para os dados de entrada e para os resultados das simulações. Dentre outras vantagens, podem ser citadas a gratuidade para o uso acadêmico, a utilização de uma linguagem de modelagem algébrica simples, a disponibilização de vastas bibliotecas de modelos e algoritmos de terceiros, e a geração de relatórios comparativos de desempenho que auxiliam na escolha do melhor *solver* para a resolução dos problemas (MICROSOFT, 2014a).

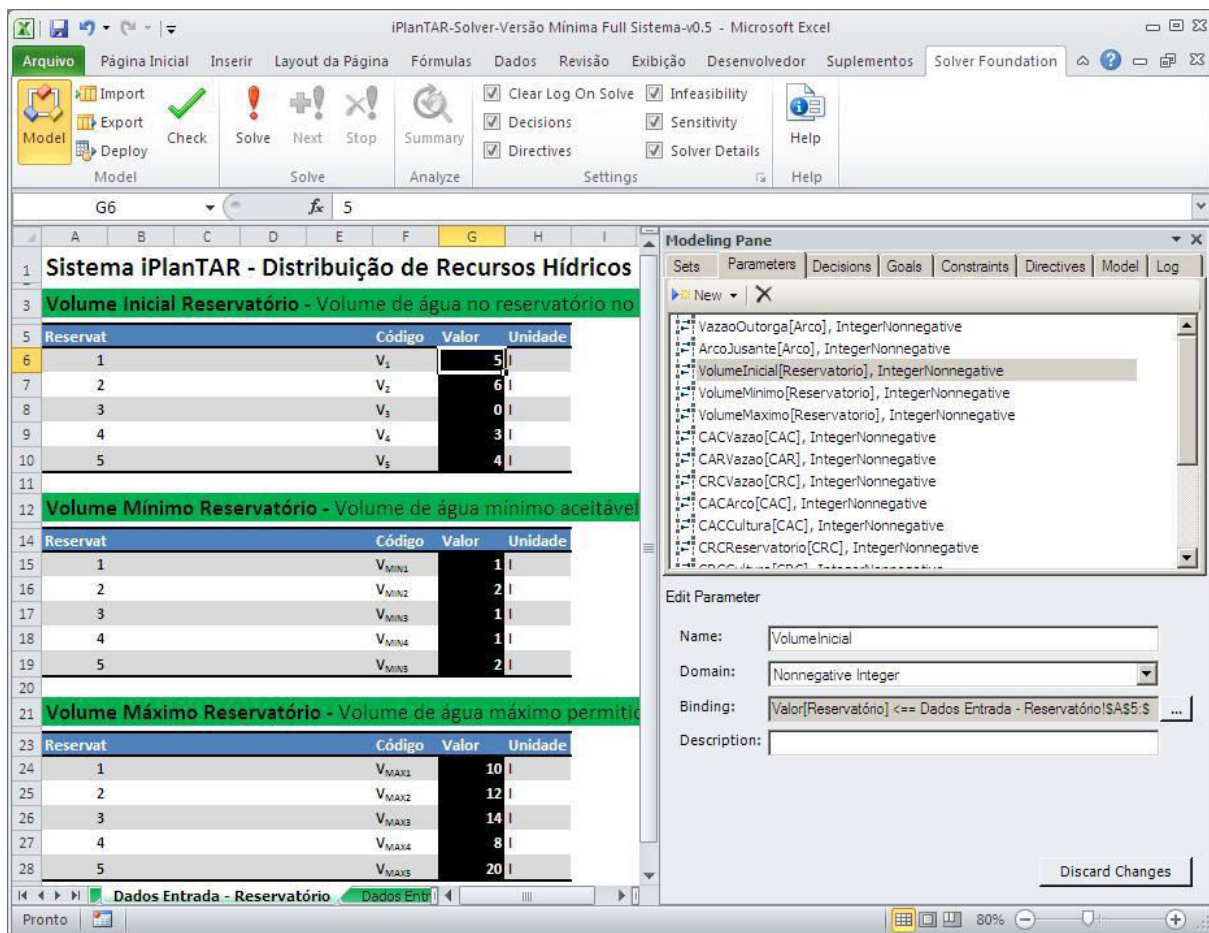


Figura 4.11 – Tela da ferramenta Microsoft® Solver Foundation, de modelagem matemática

Por fim, e após o desenvolvimento das rotinas de otimização, a própria ferramenta foi utilizada para validação da modelagem e geração do código fonte para uso em outras aplicações. Neste projeto, a rotina de otimização gerada foi integrada a aplicação *web*, com apoio de outros pacotes computacionais gratuitos da Microsoft®, que serão apresentados na seção a seguir.

### 4.3.3 Modelagem e Construção do Sistema Web

Nesta etapa foi realizado o desenvolvimento da interface com os usuários, ou seja, das telas da aplicação *web* e suas funcionalidades de navegação, cadastro, consultas, acessos a relatórios customizados e execução das rotinas de otimização. Os requisitos operacionais do sistema, levantados nas etapas anteriores, nortearam o desenvolvimento das telas, a organização do conteúdo nos *menus* na aplicação, a



gestão de acesso dos usuários às funcionalidades e a definição de um fluxo operacional para uso do sistema.

A capacidade ilimitada do número de acessos simultâneos permitirá que o sistema funcione não só como uma ferramenta de gestão e apoio à decisão para alocação da água entre os usuários, mas também, como um grande portal de informações hidrológicas da região na *internet*. O sistema foi projetado para ser autoexplicativo e de fácil utilização, podendo ser executado em qualquer navegador *web*, utilizando qualquer sistema operacional.

Além das ferramentas de modelagem e construção da base de dados e da rotina de otimização citadas anteriormente, foi utilizado o aplicativo gratuito Microsoft® Visual Web Developer Express, versão 2010, para o desenvolvimento da aplicação em Microsoft® ASP.NET, um *framework web* livre para a construção de grandes *sites* e aplicativos para *internet*.

A Figura 4.12 apresenta a interface disponibilizada pela ferramenta para gestão das aplicações desenvolvidas para *internet*, permitindo que sejam criados os usuários e configurados os perfis e regras de acesso às funcionalidades e telas do sistema.

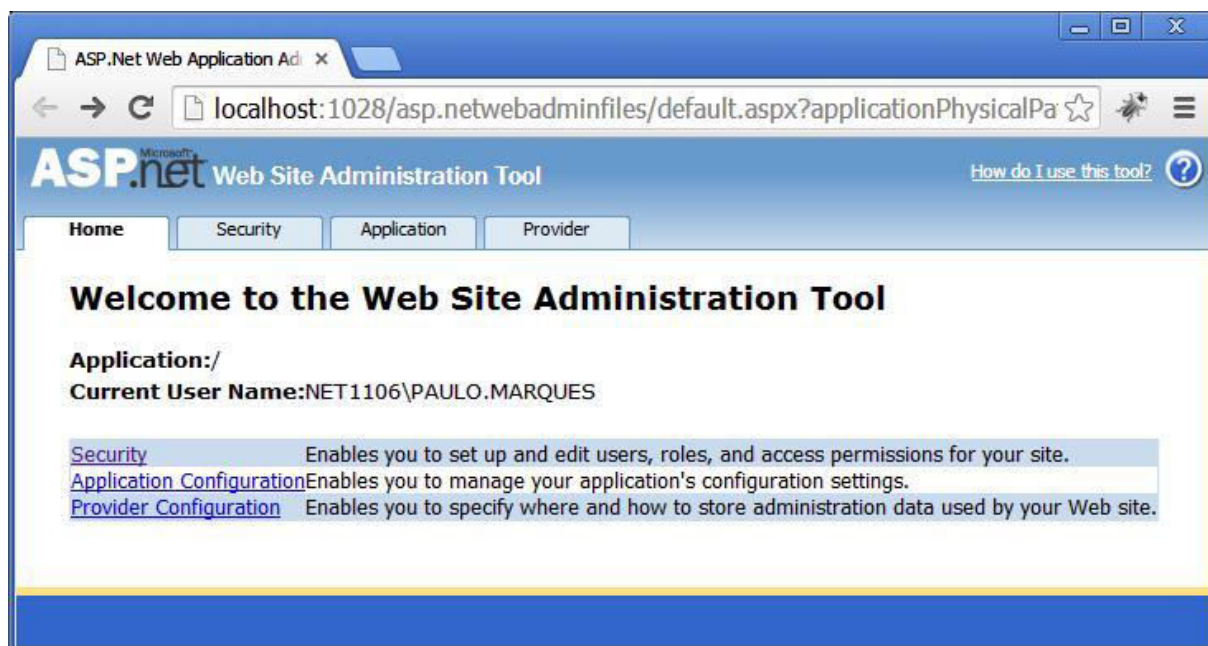
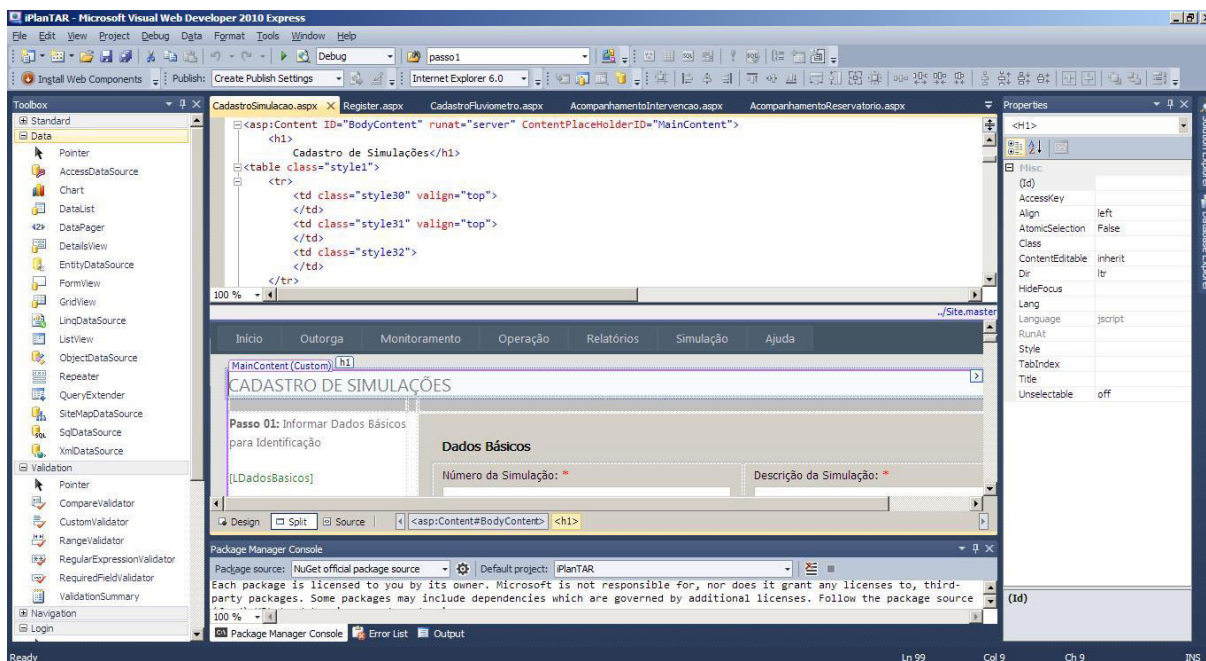


Figura 4.12 – Interface de gestão das aplicações *web* construídas em Microsoft® ASP.NET

A Figura 4.13 apresenta o ambiente gráfico de desenvolvimento da ferramenta, que possui características que facilitam o trabalho do programador, como os componentes visuais para criação de formulários na *web*.



**Figura 4.13 – Tela da ferramenta Microsoft® Visual Web Developer, de desenvolvimento web.**

As aplicações desenvolvidas no Microsoft® Visual Web Developer são facilmente integradas a bases de dados Oracle® e a rotinas de otimização desenvolvidas pelo Microsoft® Solver Foundation, sem qualquer problema de conversão ou perda de funcionalidades (MICROSOFT, 2014b).

As telas e funcionalidades do SAD foram desenvolvidas de forma a permitir total flexibilidade para utilização em quaisquer bacias hidrográficas e eventuais mudanças de critérios nos processos de alocação de água, como alterações na vazão outorgada e nas funções de prioridade para atendimento às demandas.

## 4.4 AVALIAÇÃO DO SAD

A fase de avaliação do SAD foi iniciada pelo desenho de uma microbacia hipotética e de cenários de testes que pudessem ser utilizados para avaliar todo o potencial de aplicação do sistema. Posteriormente, as rotinas de otimização desenvolvidas foram executadas para os cenários propostos, permitindo verificar o seu comportamento

frente a variadas situações, aplicabilidade e desempenho. As telas e funcionalidades disponibilizadas na aplicação *web* também foram testadas, simulando um fluxo de operação completo para ativação de um processo de outorga coletiva no sistema. Foram avaliados aplicabilidade, segurança da informação e controle de acesso, acessibilidade, navegabilidade, facilidade de uso e desempenho das funcionalidades de cadastro, consultas, execução das rotinas de otimização e interações com as informações da base de dados.

#### 4.4.1 Definição dos Cenários de Testes

Para realização dos testes com a rotina de otimização utilizada nos cálculos de alocação de água, foi necessário criar uma representação de microbacia que atendesse ao escopo mínimo definido para o projeto. Esta região hipotética, criada exclusivamente para as simulações, foi inspirada na bacia hidrográfica do Córrego Sossego. A representação gráfica dos segmentos de drenagem ou arcos dos cursos d'água, reservatórios impermeáveis e culturas atendidas pela microbacia de testes podem ser visualizados na Figura 4.14.

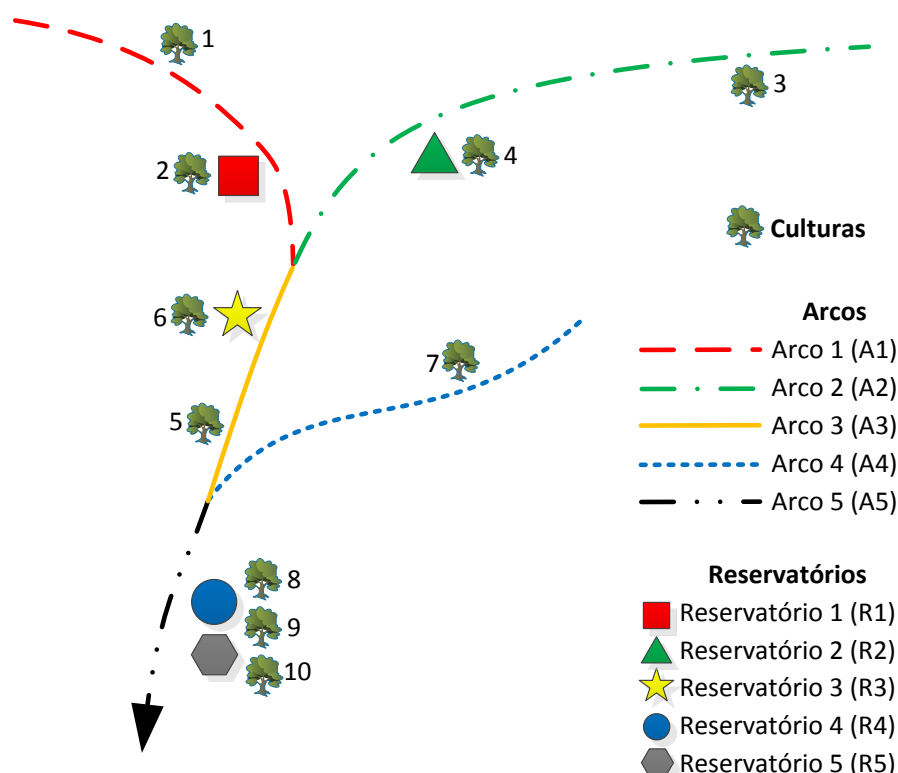


Figura 4.14 – Arcos, reservatórios e culturas da microbacia de teste

A Tabela 4.2 apresenta as intervenções hídricas da microbacia, sendo todas captações superficiais com origem em arcos da hidrografia ou em reservatórios e destinos para reservatórios ou para sistemas de irrigação das culturas. A região hidrográfica abrange dez culturas distintas competindo pela água disponível em uma rede composta por cinco segmentos de drenagem e cinco reservatórios impermeáveis, através de 19 intervenções hídricas.

**Tabela 4.2 – Identificação, origem e destino das captações superficiais para os testes**

Intervenção	Tipo da Intervenção	Código	Arco	Reservatório	Cultura
1	Captação Arco Cultura	A1-C1	A1		C1
2	Captação Arco Reservatório	A1-R1	A1	R1	
3	Captação Reservatório Cultura	R1-C2		R1	C2
4	Captação Arco Cultura	A2-C3	A2		C3
5	Captação Arco Reservatório	A2-R2	A2	R2	
6	Captação Reservatório Cultura	R2-C4		R2	C4
7	Captação Arco Cultura	A3-C5	A3		C5
8	Captação Arco Reservatório	A3-R3	A3	R3	
9	Captação Reservatório Cultura	R3-C6		R3	C6
10	Captação Arco Cultura	A4-C7	A4		C7
11	Captação Arco Cultura	A5-C8	A5		C8
12	Captação Arco Reservatório	A5-R4	A5	R4	
13	Captação Reservatório Cultura	R4-C8		R4	C8
14	Captação Reservatório Cultura	R4-C9		R4	C9
15	Captação Arco Cultura	A5-C9	A5		C9
16	Captação Arco Reservatório	A5-R5	A5	R5	
17	Captação Reservatório Cultura	R5-C9		R5	C9
18	Captação Reservatório Cultura	R5-C10		R5	C10
19	Captação Arco Cultura	A5-C10	A5		C10

Na configuração proposta, existem casos de culturas atendidas exclusivamente por reservatórios (C2, C4 e C6), culturas atendidas exclusivamente por captações em curso d'água (C1, C3, C5 e C7) e culturas que podem ser atendidas por um ou mais reservatórios e ainda por captações diretas em curso d'água (C8, C9 e C10). Também estão previstos reservatórios de uso exclusivo (R1, R2 e R3) e de uso compartilhado entre culturas (R4 e R5). O sistema de apoio à decisão deverá gerenciar as demandas de todas as culturas e coordenar a operação dos reservatórios e intervenções visando o melhor aproveitamento da água disponível.

Nos testes, foram utilizados os dados de operação de irrigômetros coletados nas cinco propriedades da bacia do Córrego Sossego (APÊNDICE A, B, C, D e E). Cada uma das cinco propriedades foi utilizada para representar as demandas de duas



culturas da microbacia hipotética. Por se tratar de uma região hipotética, as demais informações necessárias para a execução das rotinas de otimização foram parametrizadas de forma distinta nas simulações dos três cenários a seguir.

- **Reservatórios vazios:** cenário considerando que todos os reservatórios da região estão abaixo de sua capacidade de operação. Neste cenário, deve-se buscar a vazão outorgável mínima, para a microbacia e para cada um dos arcos da hidrografia, necessária para suprir todas as demandas hídricas.
- **Reservatórios cheios:** cenário considerando que todos os reservatórios da região se encontram totalmente carregados e prontos para operação. O objetivo deste cenário é o dimensionamento dos reservatórios da região para uso permanente, diminuindo ao máximo as captações em cursos d'água e a vazão outorgável necessária.
- **Reservatórios parcialmente carregados:** cenário misto a ser avaliado visando o dimensionamento dos reservatórios da região e a determinação de uma vazão outorgável mínima para manutenção de níveis de água intermediários nos reservatórios, equilibrando o suprimento das demandas de irrigação entre a água armazenada ou disponível nos cursos d'água.

#### 4.4.2 Avaliação do Processo de Alocação de Água

O comportamento, aplicabilidade e desempenho das rotinas de otimização para alocação de água foram avaliados durante a realização das simulações com os três cenários propostos, apresentados anteriormente. O mesmo ambiente de modelagem matemática e desenvolvimento das rotinas de otimização foi utilizado para a realização dos testes. O Microsoft® Solver Foundation facilitou a execução dos testes e avaliação dos resultados, pois disponibiliza relatórios de desempenho sumarizados com o comparativo de cada uma das execuções.

Os resultados obtidos ao longo das execuções e simulações de cada cenário foram analisados e comparados entre si. Além de comprovar o funcionamento das rotinas desenvolvidas, também foi avaliado o seu potencial de aplicação em cenários reais de gestão de recursos hídricos em microbacias.

### 4.4.3 Avaliação das Funcionalidades na *Web*

A falta de infraestrutura computacional e de comunicação em grande parte das propriedades rurais de base familiar impediu a avaliação do uso do sistema em campo, pelos próprios agricultores. Portanto, os testes da aplicação *web* tiveram como foco muito mais a avaliação do potencial de aplicabilidade do que a avaliação prática de usabilidade. Um fluxo completo de operação do SAD (Figura 4.7) foi simulado pelo autor, testando cada uma das telas desenvolvidas e avaliando a aplicabilidade, acessibilidade, navegabilidade, facilidade de uso, desempenho das funcionalidades e integração com base de dados e rotinas de otimização.

Inicialmente, o módulo Consulta foi avaliado através da realização de cadastros, consultas e atualizações das informações de pessoas, propriedades e demais entidades de um processo de outorga coletiva hipotético. Na sequência, as telas do módulo Operação foram acessadas, simulando os apontamentos diários do manejo agrícola praticado pelos produtores rurais e os apontamentos de vazão nos pontos de controle, níveis de reservatórios, previsões de precipitação e leituras dos irrigômetros. O cálculo da alocação de água e a consulta do planejamento de operação das captações pelo produtor também foram testados. Finalmente, o módulo Simulação foi avaliado para um dos cenários de testes propostos, utilizando a microbacia hipotética (Figura 4.14).

## 4.5 DIRETRIZES PARA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA

A proposição de diretrizes para aperfeiçoar a operacionalização do uso integrado do sistema de apoio à decisão aos irrigômetros se baseou no resultado das simulações realizadas com a rotina de otimização para alocação da água outorgada e na avaliação das demais funcionalidades disponibilizadas na aplicação *web*. Também foram realizadas oficinas com especialistas, visando apresentar e discutir os resultados obtidos pelo trabalho.

### **4.5.1 Discussões com Especialistas**

Além da agenda de reuniões com especialistas e instituições parceiras do LabGest, apresentada na Tabela 4.1, também foram realizadas várias outras sessões técnicas, internamente no LabGest, contando com especialistas convidados de órgãos gestores e representantes de instituições de pesquisa atuantes na área de gestão de recursos hídricos. Nestas oficinas, foram apresentados os resultados das fases de desenho, construção e avaliação do SAD. Posteriormente, durante as discussões, foram coletadas opiniões, diretrizes para implantação e operacionalização do sistema em microbacias, e recomendações gerais para o aperfeiçoamento deste novo instrumento de gestão comunitário.

Em oficina específica com participação de especialista com atuação local na região do Córrego Sossego, foram levantadas as dificuldades que seriam encontradas pelo produtor rural no procedimento participativo adotado e na operação do SAD. Com o apoio do especialista, foi possível se aproximar da visão do agricultor em relação ao sistema, avaliando como seria a sua participação e colaboração com o procedimento metodológico definido para alocação de água, bem como a facilidade de uso e a confiança dos usuários nas informações fornecidas e decididas em conjunto com o sistema de apoio à decisão. Em síntese, foi possível verificar a visão dos usuários com relação ao sistema, a viabilidade de uso na região e se de fato melhoraria a alocação de água de forma justa e consensual na comunidade.

Nas demais oficinas com especialistas e instituições parceiras foi dado um maior enfoque nas integrações implementadas no sistema, o manejo de irrigação, a previsão de tempo, os algoritmos de otimização e simulação e as vazões outorgadas utilizadas para o balanço hídrico. Também foi coletada a opinião dos participantes sobre o procedimento adotado, as facilidades e potencialidades de uso do SAD.

### **4.5.2 Proposição de Diretrizes**

A elaboração das diretrizes para a utilização prática do sistema de apoio à decisão integrado aos irrigâmetros deu-se a partir da sistematização e análise das

informações coletadas tanto nos testes para avaliação do SAD quanto nas oficinas com os especialistas e instituições parceiras do LabGest. As diretrizes foram apresentadas na forma de tópicos, explicando a importância, vantagens, os atores responsáveis e impactados por cada uma delas, dentre outras informações.

Por fim, com base nas diretrizes propostas, foram elaborados fluxogramas de implantação e de operação do SAD, servindo como roteiro para implementação do sistema em microbacias agrícolas com conflitos pelo uso da água.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 CONCEPÇÃO E DESENHO DO SISTEMA

Partindo de uma definição de escopo inicial e com o prévio conhecimento das principais informações que deveriam constituir a aplicação, foi possível levantar os demais requisitos do sistema de apoio à decisão e mapear as origens, relacionamentos e responsáveis pelas informações, seguindo a metodologia participativa proposta. Esta etapa foi fundamental na geração de insumos para a fase de desenvolvimento do Sistema de Apoio à Decisão (SAD) que teve como objetivo a sistematização dos requisitos e informações mapeadas.

#### 5.1.1 Levantamento de Requisitos

##### 5.1.1.1 Oficinas com Especialistas

Como parte das atividades de coleta de informações e com o propósito de subsidiar o levantamento de requisitos, foram realizadas reuniões com instituições parceiras do LabGest e com outros especialistas relacionados à problemática do trabalho (Figura 5.1).



Figura 5.1 – Reunião com especialistas em meteorologia no Incaper, em Vitória (esquerda) e reunião com especialistas em outorga e outorga coletiva no IEMA (direita)

Vale ressaltar que os debates não foram gravados, com o intuito de “deixar mais a vontade” os participantes, favorecendo assim o melhor desenvolvimento da conversa. No entanto, foram tomadas notas dos principais pontos de discussão, que serão apresentados no decorrer do trabalho e também podem ser verificados nos apêndices (APÊNDICE F, G, H e I), onde são apresentados os roteiros de cada encontro e as anotações realizadas (em azul). As reuniões foram iniciadas com a apresentação do projeto, seus objetivos e definição do escopo inicial, comentando as principais informações, regras de operação e componentes que deveriam integrar o sistema de informações na *web*. Posteriormente, foram realizadas discussões gerais sobre a abrangência do escopo delimitado para aplicação do SAD, os ajustes necessários na arquitetura do sistema e seus componentes, e as regras de operação na comunidade. Também foram realizadas discussões específicas, direcionadas a cada especialidade do público alvo das reuniões, conforme apresentado a seguir.

- **Análise de especialistas em outorga e outorga coletiva:** reuniões realizadas com integrantes do IEMA, em que foram abordadas discussões relacionadas ao monitoramento de vazões e níveis de reservatórios em bacias hidrográficas, às regras utilizadas pelo órgão para determinação das vazões outorgáveis em processos de outorga coletiva, e à gestão e fiscalização dos usos (Figura 5.1). Os detalhes da reunião estão disponíveis no APÊNDICE F.
- **Análise de especialistas em manejo de irrigação:** reunião realizada com integrantes do Incaper de Vitória e de Itarana. Os detalhes desta reunião podem ser analisados no APÊNDICE G. Foram tratadas questões específicas do manejo de irrigação, como a utilização de irrigômetros integrados ao sistema de informações, alternativas para substituição do irrigômetro no levantamento das demandas hídricas e prioridades, e regras de operação do manejo com o apoio do SAD.
- **Análise de especialistas em meteorologia:** reunião realizada no Incaper, em Vitória, com especialistas em meteorologia da instituição (Figura 5.1). Na oficina, foi abordada a qualidade das atuais informações de previsão de precipitação, fontes de dados e integração com o sistema de apoio à decisão para alocação de água na agricultura. No APÊNDICE H são apresentadas as questões debatidas durante o encontro.

- **Análise de especialista com atuação local, no Projeto Sossego:** reunião realizada no Incaper, em Itarana, com especialista em manejo agrícola alocado para suportar os produtores da bacia do Córrego Sossego. No encontro, apresentado em detalhes no APÊNDICE I, foram tratadas questões relativas à utilização prática do SAD, adaptações necessárias, aplicabilidade e receptividade por parte dos produtores da comunidade.

A reunião com os especialistas do IEMA confirmou a necessidade de se ter um cadastro completo dos processos de outorga e outorga coletiva, incluindo informações dos usuários e das propriedades atendidas. Comentaram que estas informações seriam muito úteis se disponibilizadas em um sistema de informações para consultas, atualizações e acompanhamento pelo órgão. Também foi colocada a necessidade de sistematização das regras inicialmente definidas nos TAC e nas outorgas coletivas, como as restrições relacionadas às vazões outorgáveis e às agendas de irrigação por cultura ou sistema de irrigação.

Os analistas do IEMA explicaram que, no órgão, o mais usual é a definição de uma vazão residual que deve ser garantida na foz da microbacia atendida por uma outorga coletiva. O IEMA exige que pelo menos 50% da  $Q_{90}$  seja mantido no curso d'água, porém, na grande maioria das áreas outorgadas não existem registros históricos das vazões, dificultando o estabelecimento da vazão de referência. Nestes casos, a  $Q_{90}$  é determinada pelo método de regionalização de vazões, apresentado na revisão bibliográfica, seção 3.2.2. Foi comentado que o sistema poderia auxiliar muito na determinação das restrições de vazão para a comunidade, já que o uso do próprio sistema poderá sinalizar se a vazão residual inicialmente adotada é mais ou menos restritiva para a região, período, culturas, etc., permitindo o seu ajuste ao longo do tempo. Segundo o IEMA, para a gestão de uma outorga coletiva, o mais importante seria acompanhar a vazão residual na foz da microbacia, ou seja, bastaria um ponto de controle para monitoramento de vazão. Mas o IEMA também comentou ser importante evitar que ao longo da rede hidrográfica existam pontos de escassez e sugeriu que o melhor seria o órgão gestor participar da escolha de outros pontos de monitoramento de vazão junto com a comunidade, assim como da definição das restrições por vazão nestes locais. Já o acompanhamento destas vazões, ao longo do tempo, poderia ficar a cargo apenas da comunidade.

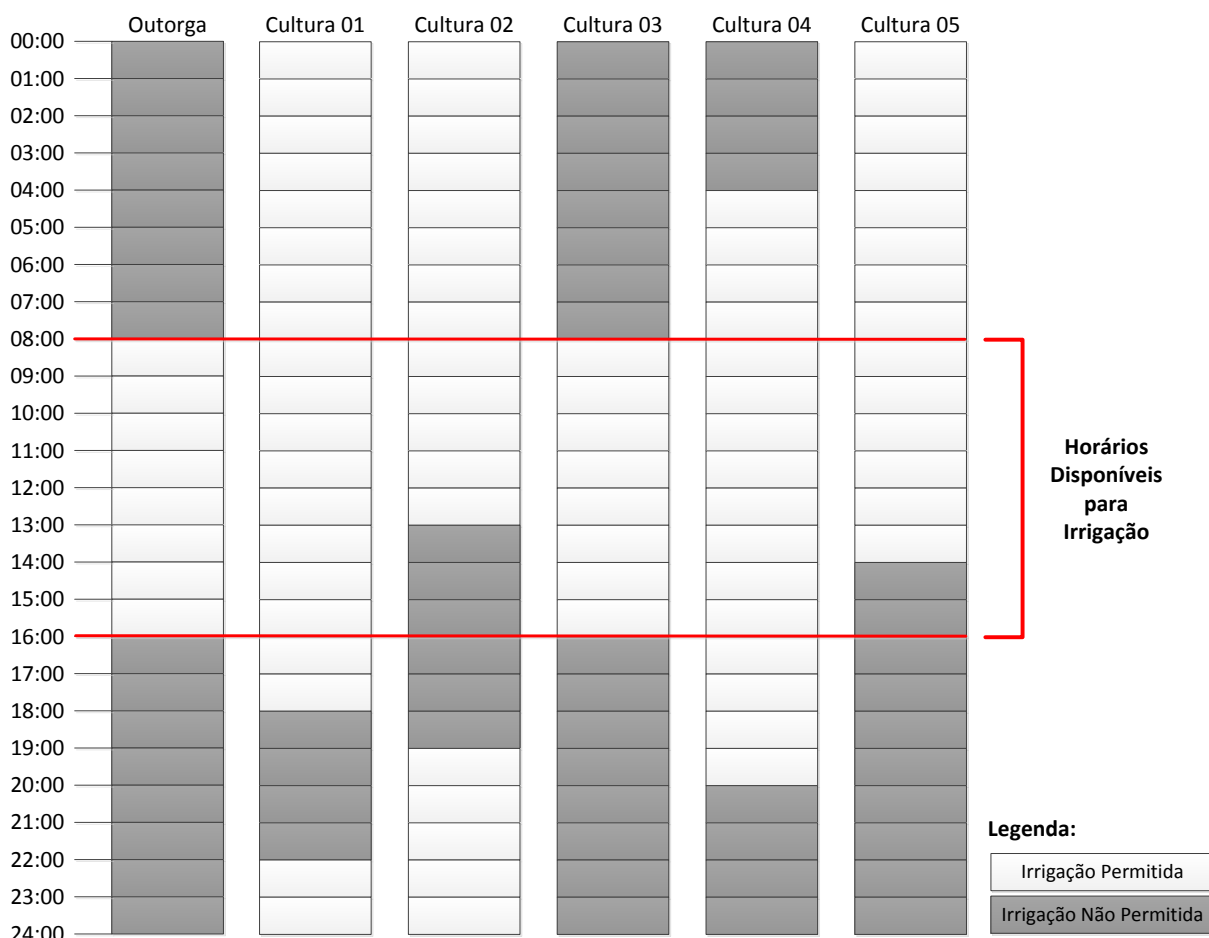
Entre os mais importantes requisitos do sistema, visando permitir o cálculo da disponibilidade hídrica, está o acompanhamento do nível de água dos reservatórios e o monitoramento das vazões nos pontos de controle definidos ao longo da rede hidrográfica. O acompanhamento das vazões pode ser realizado com apoio de fluviômetros previamente instalados e para o cálculo da disponibilidade hídrica deve ser aplicado o conceito de “imobilização hídrica”, apresentado na revisão bibliográfica, seção 3.4.1.

Conhecendo a vazão disponível para uso no curso d'água e os volumes disponíveis nos reservatórios, o sistema deverá decidir se, para a irrigação de determinada cultura, será melhor captar água diretamente do curso d'água ou de algum reservatório. Esta decisão dependerá das possibilidades de captações para suprimento do sistema de irrigação, da disponibilidade hídrica e da criticidade da demanda, num determinado horário e local. O sistema decidirá pela configuração que melhor atender a todas as demandas da microbacia, alocando, sempre que possível, toda a água disponível, seja para irrigação ou para reservação, dando preferência às demandas prioritárias.

Quando questionados sobre a definição de restrições de horários para as atividades de irrigação, os analistas do IEMA comentaram que a imposição de agendas de uso da água é comumente utilizada nos TAC com a comunidade e em outorgas coletivas devido à ausência de métodos mais eficientes para a regulação do uso da água ao longo do tempo, o que seria desnecessário no caso do sistema, já que este seria responsável pela melhor alocação possível. A imposição das agendas por dias da semana, tipos de cultura ou sistemas de irrigação poderiam restringir as opções de alocação de água do sistema e impedir que uma melhor solução de alocação de água fosse adotada. Porém, todos concordaram que a utilização da agenda de irrigação por usuário poderia ser interessante, permitindo aos produtores escolherem o período do dia para as atividades e favorecendo, por exemplo, os usuários que desejam irrigar apenas no período noturno visando os menores custos de energia. Foi definido, portanto, como requisito do sistema, a gestão das agendas definidas em outorga coletiva e válidas para toda a comunidade, como também a gestão das agendas de cada produtor, com o período de irrigação pretendido por cada usuário. O sistema deverá ser responsável por alocar a água disponível ao longo do tempo,



de acordo às preferências horárias de cada produtor em particular, desde que não desrespeite as restrições horárias da outorga, conforme ilustrado na Figura 5.2.



**Figura 5.2 – Procedimento para utilização das restrições de agendas horárias pelo sistema**

De acordo com a Figura 5.2, a outorga coletiva em questão habilita apenas o período entre 08h00min e 16h00min para irrigações. Assim, mesmo que alguns usuários prefiram irrigar em horários anteriores ou posteriores a este período, eles não estarão habilitados pelo sistema. Por exemplo, apesar do produtor da cultura 4 desejar irrigar no período entre 04h00min e 20h00min, o sistema planejará a sua irrigação apenas durante o período de 08h00min e 16h00min, período sem restrições horárias da outorga e do produtor.

A utilização das agendas horárias para irrigação e captação também foram abordadas pelos especialistas em manejo de irrigação e especialista com atuação local no Projeto Sossego. Todos concordaram ser uma funcionalidade interessante para o sistema e comentaram inclusive sobre a possibilidade de utilização de agendas horárias específicas por tipo de captação (captação em reservatório ou

captação em curso d'água), permitindo a definição de restrições horárias para a operação dos reservatórios da região.

A utilização dos irrigômetros para a determinação das demandas hídricas e das prioridades de cada cultura também foi debatida com os especialistas em manejo de irrigação e especialista com atuação local no Projeto Sossego. Todos entenderam a escolha da ferramenta de manejo, por ser de baixo custo e de fácil operação pelos produtores, contribuindo inclusive para uma maior participação dos agricultores no acompanhamento do uso da água em suas culturas. Porém, relataram preocupação relacionada ao custo de se implantar os irrigômetros em toda a microbacia. Como o equipamento é configurado por cultura irrigada, o número de equipamentos necessários seria muito grande, gerando um alto custo para a região. Mas esta preocupação foi eliminada quando explicada a vantagem se se utilizar o aparelho em conjunto com o sistema de informação. Neste cenário, foi explicado que é possível compartilhar o uso de um mesmo irrigômetro entre diversas culturas, com propriedades de solo e sistemas de irrigação distintos, mas localizadas próximas o suficiente para que as informações coletadas pelo pluviômetro e evapômetro sejam representativas a todas as culturas. A régua de manejo e a régua temporal, configuradas de acordo com os parâmetros de solo, tipo de cultura e sistema de irrigação estariam visíveis apenas no sistema e a sua posição diária seria calculada para cada cultura a partir das informações levantadas na leitura do aparelho.

Os especialistas em meteorologia do Incaper explicaram que a qualidade e confiabilidade das informações de previsão de precipitação disponíveis atualmente são baixas, principalmente para o estado do Espírito Santo, mas poderiam ser utilizadas para contabilização da disponibilidade hídrica, desde que não afetassem cenários críticos para a planta. Ou seja, conforme apresentado na seção 3.3.4, havendo grande possibilidade de chuvas, as culturas posicionadas na faixa amarela da régua de manejo poderiam esperar pelo próximo dia, porém, as culturas posicionadas na faixa vermelha deveriam ser irrigadas, desprezando a previsão de precipitação informada no sistema.

### 5.1.1.2 Requisitos Funcionais

Após as discussões com os diversos especialistas, tendo como referências a definição de escopo previamente realizada e a fundamentação teórica apoiada na revisão bibliográfica deste trabalho, os requisitos funcionais ou informacionais do sistema foram agrupados nos módulos informacionais a seguir. O detalhamento das informações de cada módulo, seus relacionamentos e origens serão apresentados nos resultados da atividade de mapeamento de informações, seção 5.1.2.

- **Cadastro de Pessoas:** conjunto de informações relacionadas ao cadastro de usuários, responsáveis técnicos, analistas de órgãos gestores e demais pessoas relacionadas ao processo de outorga coletiva.
- **Cadastro de Empreendimentos:** informações complementares do cadastro de usuários com informações relacionadas às propriedades agrícolas.
- **Organização da Área de Drenagem:** engloba as informações relacionadas à rede hidrográfica, com dados georreferenciados para localização dos vários níveis de regiões hidrográficas (bacia, sub-bacia e microbacia), dos cursos d'água, dos segmentos de cursos d'água (arcos da hidrografia) e manutenção das dependências entre estas entidades.
- **Organização Territorial:** informações georreferenciadas complementares à base geográfica para facilitar a visualização das dominialidades dos recursos hídricos através da divisão territorial (país, região, estado e município) das regiões hidrográficas.
- **Gestão de Outorgas:** conjunto de informações relacionadas ao cadastro dos processos de outorgas e outorgas coletivas.
- **Cadastro de Atividades de Uso da Água:** informações complementares do cadastro de outorgas e de usuários atendidos, com detalhes das atividades de uso da água nas propriedades atendidas pela outorga.
- **Cadastro de Irrigâmetros:** engloba as informações para identificação dos irrigâmetros instalados na região.
- **Cadastro de Atividades de Irrigação:** complementa as informações relacionadas às atividades do tipo irrigação. Neste módulo de informação são caracterizadas as culturas atendidas pelo processo de outorga.

- **Manejo de Irrigação:** informações sobre o planejamento e operação das irrigações para as culturas, diariamente, incluindo os dados de operação dos sistemas de irrigação e irrigômetros, com as posições ou marcações da régua de manejo e da régua temporal.
- **Gestão Hidrológica:** módulo para armazenamento das vazões medidas diariamente pelos fluviômetros instalados ao longo da microbacia, permitindo o cálculo da disponibilidade hídrica e determinação da vazão outorgável em cada arco ou segmento de drenagem da rede hidrográfica.
- **Gestão Meteorológica:** previsões de precipitação fornecidas por órgãos externos, com a indicação da área afetada, que poderão ser utilizadas no cálculo da disponibilidade hídrica do sistema.
- **Cadastro de Intervenções Hídricas:** compreende o cadastro de captações, identificando as origens (curso d'água ou reservatório) e os destinos (reservatórios ou sistemas de irrigação) dos recursos hídricos captados.
- **Gestão de Simulações:** conjunto de informações, já disponibilizadas pelos módulos informacionais acima, consideradas essenciais para a realização de simulações de alocação da água. Neste módulo foram criadas réplicas das principais entidades do sistema, como reservatórios, intervenções hídricas, arcos da hidrografia e culturas irrigadas, permitindo a simulação pelos usuários de alterações na configuração destas entidades no sistema.
- **Controle de Acesso:** módulo de gestão de acesso dos usuários ao sistema, que deve ser criado devido à diversidade de usuários que podem acessar a aplicação, como analistas de outorgas, analistas meteorológicos, responsáveis técnicos de empreendimentos, produtores rurais, etc. Cada tipo de usuário deverá ter acesso a funcionalidades específicas do sistema, de forma direcionada a sua intenção de uso, por isso a necessidade de identificação de cada usuário e do tipo de acesso permitido ao sistema.

### 5.1.1.3 Requisitos Operacionais

Conforme já comentado, o sistema na *web* deverá disponibilizar aos usuários os módulos Consulta, Operação e Simulação. Após o levantamento de requisitos, com

a identificação de todas as informações necessárias no sistema, o módulo Consulta foi desenhado de forma a comportar telas de cadastros e de consultas específicas para cada uma das entidades a seguir.

- **Pessoa:** informações para identificação de pessoas.
- **Empreendimento:** informações para identificação de empreendimentos.
- **Fluviômetro:** informações para identificação e localização de fluviômetros instalados ao longo da rede hidrográfica.
- **Outorga:** informações para gestão de outorgas, área de abrangência, restrições de vazões e agenda de utilização dos recursos hídricos.
- **Irrigâmetro:** informações para identificação e localização de irrigômetros.
- **Atividade:** informações das atividades de irrigação atendidas pelas outorgas coletivas, com identificação das culturas, irrigômetros utilizados nos manejos de irrigação e agendas de irrigação utilizadas pelos produtores.
- **Reservatório:** informações para identificação e localização de reservatórios existentes ao longo da rede hidrográfica.
- **Intervenção:** informações das captações atendidas pelas outorgas coletivas, identificando as origens (curso d'água ou reservatório), os destinos (reservatórios ou sistemas de irrigação) dos recursos hídricos captados e agendas de operação.

O módulo Operação foi especificado incluindo as telas de monitoramento e operação apresentadas abaixo.

- **Fluviômetro:** compreende as telas para cadastro e consulta das vazões mensuradas pelos fluviômetros da rede hidrográfica.
- **Irrigâmetro:** engloba as telas de cadastro e consulta das informações provenientes da operação dos irrigômetros, como o nível de água no tubo de alimentação e nível de água no pluviômetro.
- **Reservatório:** telas de cadastro e consulta dos volumes de reservatórios monitorados.
- **Meteorologia:** compreende as telas para cadastro e consulta das previsões de precipitação.

- **Operação:** tela para consulta pelo produtor do planejamento de operação das captações e irrigações sob sua gestão e tela para cadastro dos horários de início e fim das captações e irrigações aplicadas pelo produtor.

Para o módulo Simulação, foi especificada uma tela para cadastro e parametrização dos testes de simulação, onde também deve ser possível executar as rotinas de otimização para alocação da água disponível entre as diversas captações configuradas. Outra tela, de consulta, permitirá que o usuário abra uma simulação já cadastrada para alterações e realização de novos testes.

Um módulo de relatórios também foi desenhado com as seguintes telas.

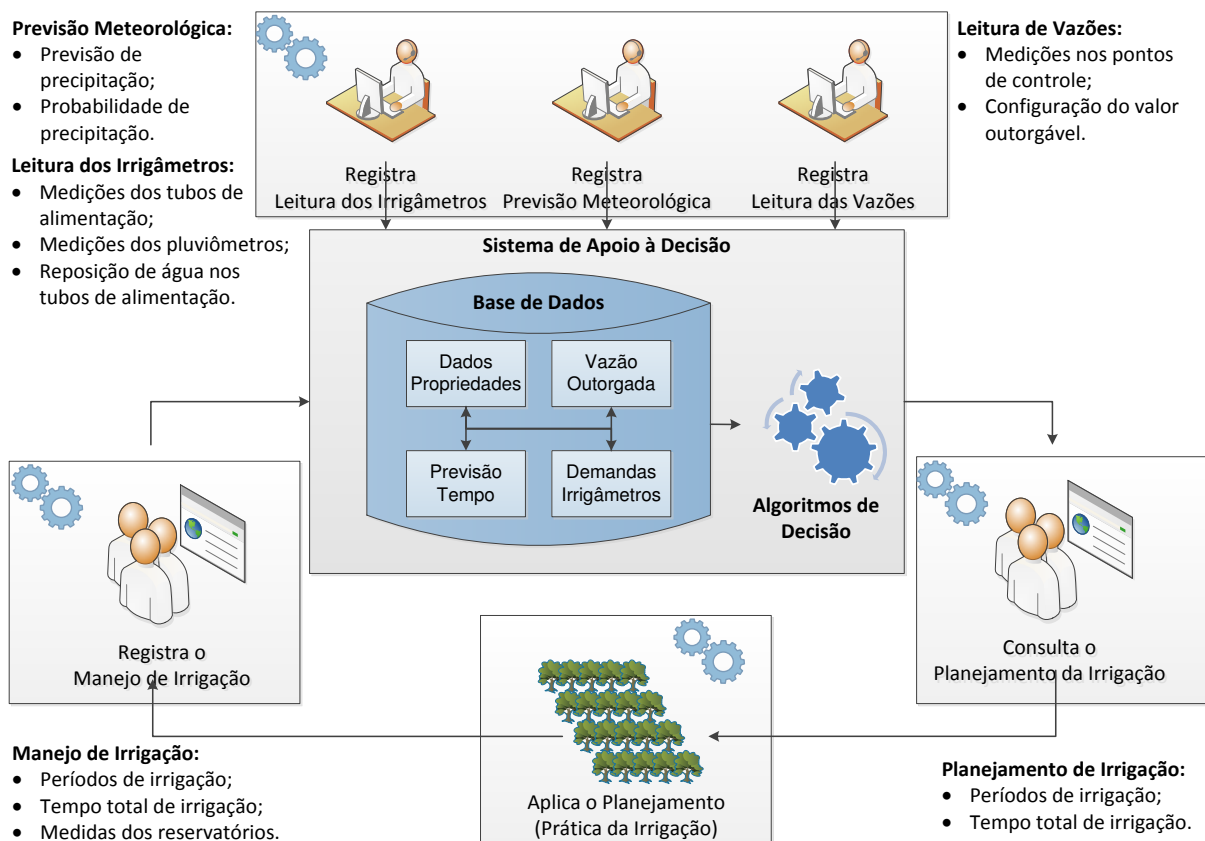
- **Grade de Operação:** planejamento, de acordo com o SAD, dos horários para operação do sistema de irrigação de determinada cultura.
- **Fluviômetros:** histórico de medições coletadas para determinado fluviômetro.
- **Atividades:** histórico de operação do sistema de irrigação para determinada cultura.
- **Reservatórios:** histórico de medições coletadas para determinado reservatório.
- **Intervenções:** histórico de operação do sistema de captação para determinada intervenção hídrica.

As telas dos módulos Simulação e Relatórios deverão estar disponíveis para acesso a todos os usuários do sistema. O acesso às demais telas, dos módulos Consulta e Operação, deverá ser gerenciado pelo módulo Controle de Acesso. Foram previstos sete perfis de acesso ao sistema.

- **Administração:** usuários do sistema com acesso irrestrito a todas as funcionalidades e telas da aplicação *web*, normalmente concedido a um único usuário que será o administrador do sistema de informações.
- **Outorga:** acesso concedido aos analistas de outorgas de órgãos gestores. Este perfil de usuário deverá ter acesso a todas as telas, do módulo Consulta, apresentadas anteriormente.

- **Irrigâmetro:** usuários responsáveis pelo cadastramento das informações de operação dos irrigômetros. O perfil terá acesso apenas às telas, do módulo Operação, relativas ao monitoramento de irrigômetros.
- **Operação:** perfil de acesso dos produtores, usuários das outorgas coletivas, que terão permissão concedida apenas para as telas, do módulo Operação, relacionadas à operação das captações e irrigações.
- **Meteorologia:** acesso concedido aos analistas de órgãos de meteorologia, responsáveis pelas previsões de precipitação. Os usuários pertencentes a este grupo terão acesso apenas às telas, do Módulo Operação, correspondentes aos dados de meteorologia monitorados.
- **Reservatório:** usuários responsáveis pelo cadastramento das informações de operação dos reservatórios. O perfil terá acesso apenas às telas, do módulo Operação, relativas ao acompanhamento dos níveis de reservatórios.
- **Fluviômetro:** grupo de acesso para os responsáveis pelas informações de vazões nos pontos de controle (fluviômetros). Os usuários deste perfil terão acesso apenas às telas, do Módulo Operação, relativas ao acompanhamento das medições dos fluviômetros.

A respeito dos requisitos de operação do SAD, foi discutido com os especialistas de manejo de irrigação sobre qual seria o melhor período para um ciclo de operação do sistema. Todos entenderam que um ciclo diário seria a melhor opção, pois os produtores já estão acostumados com o planejamento diário das irrigações e também evitaria acessos recorrentes ao sistema ao longo do dia para entrada de dados e consultas. Sugeriram que o planejamento diário das alocações de água deveria ser realizado com um controle por horas, do tempo em que os sistemas de captação e irrigação deveriam permanecer em operação. Um planejamento controlado no nível de minutos só seria justificado num cenário de total automação dos processos, onde as informações necessárias para a operação diária seriam recebidas pelo sistema por telemetria e as captações e irrigações também fossem iniciadas remotamente pelo sistema, sem necessidade de intervenções manuais pelos usuários. A Figura 5.3 apresenta o fluxo de operação do SAD desenhado após a fase de levantamento de requisitos. As engrenagens da figura representam processos que poderiam ser automatizados, evitando acessos de usuários ao SAD.



**Figura 5.3 – Ciclo de operação do SAD definido após a fase de levantamento de requisitos**

Como regra, os usuários que não alimentarem o sistema com as informações requeridas, em determinado dia, são desconsiderados do próximo planejamento diário de irrigação. Para que o planejamento volte a contemplá-los será necessário que retomem o uso do sistema com a frequência exigida pelo fluxo de operação.

O cenário de total automação do sistema, onde se dispensaria o uso de telas para entrada dos dados de fluviômetros, irrigômetros, reservatórios, previsões de precipitação e sistemas de captação e irrigação utilizados no cálculo da alocação de água, foi discutido nas reuniões de levantamento, principalmente com o especialista em atuação local. Todos concordaram que o cenário já é possível de ser implementado e que deverá ser bem recebido pela comunidade. A falta de infraestrutura, por exemplo, para automatizar a operação e o envio de informações de irrigômetros, deverá ser atendida ao longo do tempo, com a necessidade de implantação de projetos deste tipo. Para os demais componentes (fluviômetros, reservatórios, previsões de precipitação e sistemas de captação e irrigação), já existem metodologias e equipamentos que permitem a automação para troca de informações e operação remota.



## 5.1.2 Mapeamento de Informações

A fase de mapeamento das informações forneceu o conhecimento necessário à modelagem da base de dados e à sistematização das variáveis e indicadores para fundamentar as análises dos processos de outorga coletiva e os cálculos de alocação de água realizados pelo SAD. A seguir, será apresentado o resultado do mapeamento para cada grupo informacional, fruto da etapa de levantamento de requisitos, citando as informações registradas em cada módulo, as fontes de dados mapeadas, relacionamentos e os responsáveis pela gestão da informação no sistema.

### 5.1.2.1 Cadastro de Pessoas

As informações cadastrais de pessoas incluem dados básicos de identificação, como nome, documento, endereço e informações para contato, além de outros indicadores sociais e econômicos, como renda familiar, patrimônio familiar e escolaridade.

Os dados de endereço deverão estar relacionados às informações georreferenciadas do módulo Organização Territorial, permitindo a localização geográfica das pessoas. O módulo de informação também deverá permitir o cadastro de mais de um endereço, documento e contato por pessoa. Tendo como foco a agricultura familiar e visando a sistematização de todas as pessoas de uma família atendida por uma mesma propriedade rural, este grupo funcional prevê o cadastramento de relacionamentos entre pessoas, sendo possível indicar o usuário titular e vinculá-lo aos usuários dependentes deste titular, como esposa e filhos.

O cadastramento das informações relacionadas às pessoas é de responsabilidade dos analistas de outorgas dos órgãos gestores, tendo como origem os formulários de cadastro de usuários para fins de outorga coletiva. O cadastramento destas informações deve ser realizado pelo sistema na *web*, através das telas de cadastro e de consulta específicas.

### 5.1.2.2 Cadastro de Empreendimentos

Os dados principais relacionados ao cadastro de empreendimentos ou propriedades incluem nome, documentação, porte, atividade principal e localização do empreendimento rural.

Os dados de endereço, assim como no cadastro de pessoas, deverão estar relacionados às informações georreferenciadas do módulo Organização Territorial, permitindo a localização geográfica dos empreendimentos. O módulo de informação também deverá permitir o cadastro de vários documentos por empreendimento. Deve ser possível ainda o relacionamento entre empreendimentos, permitindo que subdivisões de uma propriedade sejam registradas no sistema e possam ser acompanhadas individualmente ou em conjunto com o empreendimento principal. Os empreendimentos ou propriedades deverão estar associados ao módulo de pessoas, identificando o usuário principal e o responsável técnico, caso exista. Assim, é possível navegar entre os grupos informacionais de pessoas e empreendimentos.

A gestão das informações relacionadas aos empreendimentos, assim como o cadastro de pessoas, é de responsabilidade dos analistas de outorgas dos órgãos gestores, tendo como origem os formulários de cadastro de usuários para fins de outorga coletiva. O cadastramento destas informações será realizado pelo sistema na *web*, através de telas de cadastro e de consulta específicas.

### 5.1.2.3 Organização da Área de Drenagem

As informações relacionadas à organização da área de drenagem deverão estar distribuídas entre os seguintes elementos georreferenciados: (1) regiões hidrográficas ou bacias hidrográficas; (2) cursos d'água da rede hidrográfica; e (3) arcos ou segmentos da rede hidrográfica.

Os arcos da hidrografia ou segmentos de cursos d'água são os menores elementos da rede hidrográfica e serão utilizados para relacionamento com as demais

informações hidrológicas do sistema, vazões de referência, classes de enquadramento e localização das interferências nos recursos hídricos. O módulo deve garantir o relacionamento entre arcos, sendo possível a identificação do arco a jusante e permitindo que o sistema navegue pela rede hidrográfica, a jusante e a montante de qualquer arco da hidrografia. Os arcos devem ainda estar relacionados a seus respectivos cursos d'água e ao menor nível da hierarquia de regiões hidrográficas. As regiões hidrográficas devem estar organizadas de forma hierarquizada, permitindo que seja possível identificar os vários níveis de organização da área de drenagem, por exemplo, partindo de uma microbacia, identificar a sub-bacia e a bacia hidrográfica a que ela está inserida. Cada região também deve registrar o órgão gestor responsável pela concessão de outorgas e a região hidrográfica a jusante, para que seja possível desenhar toda a malha hidrográfica e verificar os impactos das interferências entre as regiões.

O módulo de informação com a organização da área de drenagem deve ser disponibilizado pelos administradores do sistema, durante carga inicial dos dados e antes da disponibilização da aplicação para os usuários finais do sistema. As informações estarão disponíveis para consulta no sistema, mas não poderão ser alteradas por nenhum usuário pelas telas da aplicação *web*. A recomendação é de que a rede hidrográfica seja carregada com dados de Modelos Digitais de Elevação (MDE) levantados por outros projetos para a área de aplicação do sistema. Devido à disponibilização da base global de elevação registrada pela missão de mapeamento do relevo terrestre “*Shuttle Radar Topography Mission*” (SRTM), um número crescente de projetos ligados à gestão de recursos hídricos utiliza os MDE hidrograficamente condicionados para extrair características físicas de bacias hidrográficas e aplicá-las em estudos hidrológicos como, por exemplo, na regionalização de vazões mínimas (MARQUES, 2010).

#### 5.1.2.4 Organização Territorial

As informações relacionadas à organização territorial deverão estar associadas a regiões geográficas, entidades georreferenciadas no sistema, representando a divisão político-administrativa dos territórios.

As regiões geográficas, assim como as regiões hidrográficas, devem estar organizadas de forma hierarquizada, permitindo que seja possível identificar os vários níveis da organização territorial, por exemplo, partindo de uma cidade, identificar o estado e o país a que ela está inserida.

Este módulo de informação também deve ser disponibilizado pelos administradores do sistema, durante carga inicial dos dados e antes da disponibilização da aplicação para os usuários finais do sistema na *web*. A recomendação é de que a organização territorial seja carregada na base de dados do sistema com informações georreferenciadas disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em camada de informação específica, permitindo análises em conjunto com os dados de organização da área de drenagem.

#### 5.1.2.5 Gestão de Outorgas

Foram mapeadas as seguintes informações para o grupo funcional de cadastro e gestão dos processos de outorgas: (1) código e descrição que identifica o processo de outorga internamente no órgão gestor; (2) órgão gestor responsável; (3) região geográfica atendida; (4) região hidrográfica atendida; (5) analista técnico responsável pelo processo de outorga internamente no órgão gestor; (6) validade, em meses, do processo de outorga; (7) data de início da validade; (8) data de fim da validade; e (9) agendas ou restrições horárias da outorga de direito de uso da água.

O módulo permite o relacionamento entre processos de outorgas, tornando possível vincular um processo de alteração, renovação ou cessão com outro processo de outorga já existente. A outorga também está relacionada ao órgão gestor, responsável pela gestão do processo. A identificação do responsável técnico pela outorga, no órgão gestor, é representada através de um relacionamento com o módulo de pessoas. Os grupos informacionais de organização territorial e organização da área de drenagem estão vinculados à outorga para identificar, respectivamente, a região geográfica e a região hidrográfica atendida pelo processo.

O cadastramento das informações relacionadas aos processos de outorga é de responsabilidade dos analistas de outorgas dos órgãos gestores, tendo como origem os formulários utilizados pelas próprias instituições para fins de outorga coletiva. O cadastramento destas informações deve ser realizado pelo sistema na *web*, através das telas de cadastro e de consulta específicas.

#### 5.1.2.6 Cadastro de Atividades de Uso da Água

O módulo é responsável pela identificação de todas as atividades, que requerem o uso da água, relacionadas a um mesmo processo de outorga. Como exemplos de atividades, podemos citar mineração, indústria, agropecuária, irrigação, aquicultura, lazer e turismo, saneamento, aproveitamento hidrelétrico, etc. Além do relacionamento com o módulo de gestão de outorgas, cada diferente atividade deverá estar relacionada a um empreendimento, permitindo que sejam identificados os usuários atendidos.

O cadastramento das informações relacionadas às atividades vinculadas aos processos de outorga também é de responsabilidade dos analistas de outorgas dos órgãos gestores, tendo como origem os formulários utilizados pelas próprias instituições para fins de outorga coletiva. O cadastro destas informações deve ser realizado pelo sistema na *web*, através de telas específicas.

#### 5.1.2.7 Cadastro de Irrigômetros

As seguintes informações do cadastro de irrigômetros foram mapeadas para este grupo informacional: (1) código e descrição que identifica o irrigômetro instalado na região; (2) nível da quantidade de água no evaporatório; (3) data de instalação do aparelho; (4) horário para verificação diária do aparelho; (5) identificação do responsável técnico pelo aparelho; e (6) empreendimento de instalação.

Os irrigômetros deverão estar associados ao módulo de pessoas para identificar o responsável técnico pela manutenção e operação diária do aparelho. O módulo de

empreendimentos também está relacionado ao equipamento, identificando a propriedade e localização de instalação. Todas as opções de réguas de manejo e de réguas temporais deverão estar cadastradas no módulo, com as suas informações características, para associação às culturas que as utilizarão no manejo de irrigação a ser acompanhado pelo sistema. As réguas de manejo deverão ser cadastradas com as informações de código e descrição para identificação, sensibilidade ao déficit hídrico, disponibilidade total de água no solo e fase de desenvolvimento da cultura, e registro de cada marcação da régua, relacionando o nível de água no tubo de alimentação com a respectiva cor e prioridade de irrigação. As réguas temporais, além do código e descrição para identificação, também deverão registrar a intensidade líquida de aplicação de água pelo sistema de irrigação e as marcações relacionando o nível de água no tubo de alimentação com o respectivo tempo de irrigação necessário para o solo atingir a sua capacidade de campo.

O módulo é responsável apenas pelo cadastro dos irrigômetros e suas réguas. A identificação das culturas que utilizam o aparelho para o manejo de irrigação é mantida pelo grupo informacional de cadastro de atividades de irrigação, que veremos a seguir, na seção 5.1.2.8.

O cadastramento das informações de irrigômetros instalados na microbacia é de responsabilidade dos analistas de outorgas dos órgãos gestores, tendo como origem as informações encaminhadas pelos usuários da outorga coletiva. O cadastramento destas informações deve ser realizado pelo sistema na *web*, através das telas de cadastro e de consulta específicas. Já as informações relacionadas às réguas do aparelho, por serem imutáveis e fornecidas pelo fabricante, devem ser disponibilizadas pelos administradores do sistema, durante carga inicial dos dados e antes da disponibilização da aplicação para os usuários finais do sistema.

#### 5.1.2.8 Cadastro de Atividades de Irrigação

Neste módulo são detalhadas as culturas atendidas pelo processo de outorga, com as seguintes informações: (1) código e descrição que identifica a atividade de irrigação pelo usuário e internamente no órgão gestor; (2) código e descrição que

identifica unicamente uma cultura irrigada de uma atividade de irrigação; (3) irrigâmetro, régua de manejo e régua temporal utilizadas no manejo da irrigação; (4) área total irrigada da cultura; (5) vazão do sistema de irrigação; (6) eficiência de aplicação da água pelo sistema de irrigação; (7) coeficiente de uniformidade de aplicação de água do sistema de irrigação; (8) disponibilidade total de água no solo; (9) intensidade líquida de aplicação de água pelo sistema de irrigação; e (10) agendas ou restrições horárias da cultura para as atividades de irrigação.

Através da identificação da atividade de irrigação é possível determinar a outorga e o empreendimento de cada cultura, informações disponíveis no módulo de cadastro das atividades de uso da água. O irrigâmetro, régua de manejo e régua temporal utilizados no manejo de irrigação da cultura também estão relacionados a este grupo informacional.

O cadastramento das informações relacionadas às culturas atendidas pelos processos de outorga também é de responsabilidade dos órgãos gestores, tendo como origem os formulários utilizados pelas próprias instituições para fins de outorga coletiva. O cadastramento destas informações deve ser realizado pelo sistema na *web*, através das telas de cadastro e de consulta específicas.

#### 5.1.2.9 Manejo de Irrigação

Foram mapeadas as seguintes informações para o grupo funcional de manejo de irrigação: (1) código e descrição que identifica unicamente uma cultura irrigada de uma atividade de irrigação; (2) data de referência do manejo de irrigação planejado ou realizado; (3) hora de verificação do irrigâmetro, para observação dos níveis de água no tubo de alimentação e no pluviômetro; (4) fase de desenvolvimento em que a cultura se encontra; (5) nível de água do tubo de alimentação ou evaporímetro do irrigâmetro; (6) nível de água do pluviômetro do irrigâmetro; (7) marcação da régua de manejo para a cultura com a cor e prioridade de irrigação, antes e depois da atividade de irrigação; (8) marcação da régua temporal para a cultura com o tempo de irrigação necessário para o solo atingir a sua capacidade de campo, antes e depois da atividade de irrigação; (9) horários de início e fim planejados pelo sistema

para realização da irrigação; e (10) horários de início e fim utilizados pelo produtor para realização da irrigação.

O módulo é responsável pelo registro histórico de todas as informações relacionadas ao manejo de irrigação de cada cultura atendida pelos processos de outorga. As informações de planejamento da irrigação deverão ser geradas pelo próprio sistema através das rotinas de otimização para alocação de água entre as culturas. Considerando um cenário totalmente automatizado, o sistema poderia acionar os sistemas de irrigação automaticamente, sem intervenções de usuários. Já num cenário não automatizado, os planejamentos gerados pela otimização permanecerão disponíveis para consulta pelos produtores, diariamente, no sistema *web*. Os produtores, após a realização da irrigação, deverão cadastrar no sistema os horários utilizados, podendo ser ou não os mesmos horários planejados pelo sistema.

As informações deste grupo serão registradas no sistema *web* através das telas do módulo Operação. O registro diário das leituras dos irrigômetros deverá ser realizado pelos responsáveis por estes aparelhos, utilizando telas específicas para este cadastro. Já o manejo de irrigação deverá ser informado pelo próprio produtor, utilizando as telas de operação disponibilizadas para os produtores rurais.

#### 5.1.2.10 Gestão Hidrológica

Todas as informações do módulo informacional de gestão hidrológica deverão estar relacionadas aos arcos ou segmentos da rede hidrográfica, permitindo a localização das medições de vazões e qualidade da água na microbacia. Foram mapeadas as informações a seguir para o módulo: (1) identificação do arco da hidrografia de referência das informações; (2) data ou período de referência da medida de vazão para o arco; (3) órgão gestor responsável pelas medições; (4) identificação do analista responsável pelas medições; (4) vazão de referência para o arco, se disponível; (5) percentual outorgável da vazão de referência utilizada para o arco; (6) vazão demandada por captações no arco de hidrografia; (7) vazão disponível após aplicação das demandas por captações no arco; (8) vazão real medida para o arco



na data de referência; (9) vazão residual para o arco exigida pelo órgão gestor; e (10) vazão outorgável ou vazão excedente à vazão residual para o arco.

O módulo permite que sejam registradas as vazões de referência, percentual outorgável pelo órgão gestor, soma das vazões demandadas por captação e cálculo das vazões disponíveis por arco da hidrografia e por período de referência. Estas informações foram previstas no módulo, pois poderão ser úteis caso o sistema seja expandido de forma a considerar outros processos de outorga além da outorga coletiva. Para os processos de outorga coletiva, torna-se necessário apenas a medição diária da vazão no ponto de controle ou no arco de hidrografia monitorado, e a vazão residual exigida pelo órgão gestor para este ponto de monitoramento. O sistema realizará o cálculo da vazão outorgável e a alocará ao longo do tempo de forma a suprir as demandas de irrigação de acordo com as prioridades das culturas.

O registro diário das leituras dos fluviômetros deverá ser realizado pelos responsáveis por estes aparelhos, utilizando telas específicas para este cadastro, disponibilizadas no módulo Operação do sistema *web*. Considerando um cenário totalmente automatizado, o sistema poderia receber os dados fluviométricos automaticamente, via telemetria. Os fluviômetros, com a indicação dos arcos da hidrografia monitorados, deverão ser previamente cadastrados pelos analistas de outorgas dos órgãos gestores através de telas de cadastro e de consulta específicas, disponíveis no módulo Consulta da aplicação na *internet*.

#### 5.1.2.11 Gestão Meteorológica

As previsões de precipitação, escopo deste módulo informacional, estarão relacionadas ao módulo de organização territorial ou ao módulo de organização da área de drenagem, visando identificar a área de abrangência da previsão. Foram mapeadas as seguintes informações: (1) data de referência da previsão de precipitação; (2) identificação da região geográfica de referência da previsão; (3) identificação da região hidrográfica de referência da previsão; (4) identificação do analista meteorológico responsável; (5) estimativa de precipitação para a data de

referência, medida em mm; e (6) probabilidade, medida em %, de incidência de chuvas no dia.

A probabilidade de ocorrência de chuvas e a estimativa de precipitação deverão ser informadas pelos analistas meteorológicos das instituições responsáveis pela previsão, diariamente, no sistema *web*, através das telas do módulo Operação específicas para este cadastro. Considerando um cenário totalmente automatizado, o sistema poderia receber os dados das previsões de precipitação automaticamente, via integração com os sistemas de meteorologia dos órgãos responsáveis.

#### 5.1.2.12 Cadastro de Intervenções Hídricas

Dentre os possíveis tipos de intervenções hídricas, citados na seção 3.2 da revisão bibliográfica, este trabalho considera apenas as captações superficiais em curso d'água e em reservatórios. Porém, o módulo de informações foi concebido com o propósito de ser enriquecido, futuramente, com os demais tipos de intervenções, possibilitando uma gestão completa dos recursos hídricos de uma região.

Com base no escopo definido, foram mapeadas as informações a seguir para o módulo: (1) processo de outorga que autoriza a intervenção; (2) empreendimento onde está instalada a intervenção; (3) identificação do arco da hidrografia para as captações superficiais em curso d'água; (4) identificação do reservatório para as captações superficiais com origem em reservatórios ou com destino para reservatórios; (5) vazão máxima de captação; (6) volume total dos reservatórios; (7) volume mínimo e máximo com condições de utilização para os reservatórios; e (8) agendas ou restrições horárias de operação das intervenções.

Além do relacionamento com o módulo de gestão de outorgas, cada intervenção deverá estar relacionada a um empreendimento, permitindo que sejam identificadas as culturas e os usuários atendidos. As intervenções são objetos georreferenciados, sendo possível localizá-los na rede de drenagem. As captações superficiais em curso d'água devem estar relacionadas ainda a um arco de hidrografia, permitindo que o

sistema identifique o ponto da rede de drenagem impactado pela captação e refaça os cálculos de disponibilidade hídrica.

As intervenções e reservatórios da região deverão ser previamente cadastrados pelos analistas de outorgas dos órgãos gestores através de telas de cadastro e de consulta específicas. Considerando um cenário totalmente automatizado, o sistema poderia receber os dados de monitoramento dos níveis de reservatórios automaticamente, via telemetria, caso contrário, o sistema *web* deverá ser utilizado, diariamente, para este acompanhamento. A operação das captações deverá ser informada pelo próprio produtor, utilizando as telas de operação disponibilizadas para os produtores rurais.

#### 5.1.2.13 Gestão de Simulações

Replicando as principais entidades do sistema, foram mapeadas as seguintes informações: (1) código e descrição que identifica a simulação para o usuário do sistema; (2) identificação da região geográfica de referência da simulação; (3) identificação da região hidrográfica de referência; (4) identificação do analista técnico responsável pela simulação; (5) estimativa de precipitação e probabilidade de incidência de chuvas a ser considerada nos testes; (6) código e descrição que identifica cada uma das culturas irrigadas da simulação; (7) identificação do tipo e da fase de desenvolvimento de cada cultura; (8) identificação da régua de manejo e marcação para cada uma das culturas irrigadas, com a cor e prioridade de irrigação, antes e depois da atividade de irrigação planejada pela simulação; (9) identificação da régua temporal e marcação para cada uma das culturas irrigadas, com o tempo de irrigação necessário para o solo atingir a sua capacidade de campo, antes e depois da atividade de irrigação planejada pela simulação; (10) código e descrição que identifica cada uma das interferências da simulação; (11) identificação do arco da hidrografia para as captações superficiais em curso d'água; (12) identificação do reservatório para as captações superficiais com origem em reservatórios ou com destino para reservatórios; (13) vazão de captação para cada interferência cadastrada na simulação; (14) volume mínimo, máximo e atual de cada reservatório; (15) vazão real e vazão residual para cada arco da hidrografia que se deseja

monitorar; e (16) agendas ou restrições horárias da outorga, cultura e interferências da simulação.

Todas as informações acima deverão ser registradas pelas telas de cadastro e consulta do módulo Simulação, disponibilizado a todos os usuários do sistema na *web*. O objetivo é concentrar as informações essenciais para a realização de testes com a rotina de otimização de alocação de água. O módulo torna possível a manipulação das variáveis do problema de distribuição de água, verificando os resultados de alocação obtidos para diferentes cenários de simulação.

#### 5.1.2.14 Controle de Acesso

O módulo de controle de acesso gerencia as credenciais de acesso de cada usuário ao sistema. As informações deste módulo são utilizadas pelo sistema para habilitar as telas da aplicação *web* de acordo com os perfis de acesso relacionados a cada usuário. As seguintes informações foram mapeadas para este grupo informacional: (1) código que identifica unicamente um usuário no sistema e é utilizado como chave de acesso do usuário ao sistema; (2) senha de acesso do usuário ao sistema; (3) identificação da pessoa responsável pela chave; e (4) perfil de acesso do usuário ao sistema. Os possíveis perfis de acesso são descritos em detalhes na seção 5.1.1.3.

As credenciais estão associadas ao módulo de pessoas, que disponibiliza informações complementares dos usuários do sistema. A aplicação na *web* disponibilizará telas para troca de senha e solicitação de chave de acesso para usuários ainda não cadastrados. Após a solicitação da chave de acesso pelo sistema, os administradores deverão associar o novo usuário a um perfil de acesso e comunicar a liberação das telas restritas a este perfil, por *e-mail*, ao usuário.

### 5.2 INTEGRAÇÃO ENTRE SAD E IRRIGÂMETROS

Tendo como referência os dados de configuração e operação dos irrigômetros instalados nas cinco propriedades selecionadas por Lima (2012), na bacia

hidrográfica do Córrego Sossego (APÊNDICE A, B, C, D e E), foram definidas as regras de atribuição das prioridades às demandas hídricas de cada cultura. O efeito das previsões de precipitação nas prioridades de atendimento também foram avaliadas com o apoio de especialistas da área.

Por fim, foram especificadas as regras para integração das informações coletadas diariamente nos irrigômetros com a aplicação na *web*, permitindo que o sistema tenha conhecimento das necessidades hídricas de cada cultura, criticidade das demandas e tempo necessário de irrigação para posterior aplicação da rotina de otimização.

### 5.2.1 Atribuição de Prioridade às Demandas Hídricas

Inicialmente, para que pudessem ser atribuídos valores às prioridades das demandas hídricas de cada cultura, foram definidas quatro faixas numéricas, com ordens de grandeza distintas e diretamente relacionadas às quatro cores da régua de manejo do irrigômetro. Quanto maior a criticidade pela irrigação, representada pela cor da régua de manejo, maior deve ser a faixa numérica de prioridade. Posteriormente, cada milímetro do tubo de alimentação foi relacionado a uma cor da régua de manejo e a um valor de prioridade, da faixa numérica correspondente.

- **Cor azul:** valor de prioridade fixo e igual a -1 para todos os milímetros da faixa. O valor negativo para a prioridade indica que a irrigação não deve ser realizada, já que o solo se encontra com alta disponibilidade de água. A irrigação nessa condição pode provocar encharcamento e perda de nutrientes para camadas mais profundas do solo.
- **Cor verde:** valores de prioridades com dois dígitos, variando entre a faixa de 10 a 99. Esta faixa de valores representa boa disponibilidade de água no solo, não sendo necessário irrigar a cultura. Entretanto, nos casos de irrigações efetuadas apenas no período noturno, pode ser necessário irrigar com maior frequência e menor tempo de funcionamento.
- **Cor amarela:** valores de prioridades variando de 100 a 999, com três dígitos. Esta faixa de valores alerta sobre o momento de irrigar. Havendo margem de

segurança ou indício de possibilidade de ocorrência de chuva, o irrigante pode aguardar o dia seguinte.

- **Cor vermelha:** valores de prioridades com quatro dígitos, variando de 1000 a 9999, indicado alta prioridade de irrigação devido à baixa disponibilidade de água no solo. O momento da irrigação já passou e existem sérios riscos de redução significativa na produtividade da cultura.

A Tabela 5.1 foi gerada a partir de observações e representa as régua de manejo das propriedades selecionadas na bacia hidrográfica do Córrego Sossego. Como as culturas se encontravam em fase final de desenvolvimento, foi representada apenas a face 3 das régua de manejo, onde é possível verificar os milímetros do tubo de alimentação correspondentes a cada cor da régua.

**Tabela 5.1 – Correspondência entre as cores das régua de manejo (face 3) e milímetros do tubo de alimentação observada para as propriedades selecionadas**

Cor	Faixas do Tubo de Alimentação (mm) para Régua de Manejo (Face 3)				
	Propriedade A (CS 1.4)	Propriedade B (CS 1.5)	Propriedade C (CS 1.6)	Propriedade D (CS 1.9)	Propriedade E (CS 1.2)
Azul	0.0 – 4.9	0 – 5.4	0 – 5.7	0 – 6.9	0 – 4.3
Verde	5.0 – 9.9	5.5 – 10.9	5.8 – 11.5	7 – 13.9	4.4 – 8.3
Amarelo	10 – 14.9	11 – 16.4	11.6 – 17.3	14 – 20.9	8.4 – 12.7
Vermelho	15 – 35	16.5 – 35	17.4 – 35	21 – 35	12.8 – 35

Para uma mesma cor da régua de manejo, o primeiro ou menor milímetro correspondente do tubo de alimentação receberá o menor valor da faixa numérica de prioridades especificada. Já o último ou maior milímetro estará associado ao maior valor da faixa. Os milímetros intermediários deverão estar associados a um valor de prioridade segundo uma escala crescente, incrementada pelo fator  $f_M$  a seguir (Equação 5.1).

$$f_M = \frac{(V_F - V_I)}{M - 1} \quad (5.1)$$

Onde:

$f_M$  é o fator, calculado por faixa de cor da régua de manejo do irrigâmetro, de incremento da prioridade associada aos milímetros do tubo de alimentação;

$V_I$  é o valor inicial da faixa numérica especificada para a cor;

$V_F$  é o valor final da faixa numérica especificada para a cor;

$M$  é a quantidade de milímetros correspondentes à cor.

A Tabela 5.2, a seguir, apresenta os valores de prioridades atribuídos para cada milímetro do tubo de alimentação, considerando a face 3 da régua de manejo de modelo CS 1.2, utilizada na propriedade E.

**Tabela 5.2 – Prioridades atribuídas aos milímetros do tubo de alimentação da propriedade E**

Tubo (mm)	Faixa Azul	Tubo (mm)	Faixa Verde	Tubo (mm)	Faixa Amarela	Tubo (mm)	Faixa Vermelha
0	-1	4.4	10	8.4	100	12.8	1000
0.1	-1	4.5	12	8.5	121	12.9	1041
0.2	-1	4.6	15	8.6	142	13	1081
.	.	4.7	17	8.7	163	13.1	1122
.	.	4.8	19	8.8	184	13.2	1162
.	.	4.9	21	8.9	205	13.3	1203
3	-1	5	24	9	225	13.4	1243
3.1	-1	5.1	26	.	.	13.5	1284
3.2	-1	5.2	28	.	.	13.6	1324
3.3	-1	5.3	31	.	.	13.7	1365
3.4	-1	5.4	33	11.8	811	13.8	1405
3.5	-1	.	.	11.9	832	13.9	1446
3.6	-1	.	.	12	853	14	1486
3.7	-1	.	.	12.1	874	14.1	1527
3.8	-1	7.8	88	12.2	894	.	.
3.9	-1	7.9	90	12.3	915	.	.
4	-1	8	92	12.4	936	.	.
4.1	-1	8.1	94	12.5	957	34.8	9918
4.2	-1	8.2	97	12.6	978	34.9	9958
4.3	-1	8.3	99	12.7	999	35	9999

O cálculo do fator  $f_M$  para a faixa de cor amarela, representada na Tabela 5.2, é demonstrado abaixo. A régua de manejo CS 1.2, face 3, possui 44 milímetros associados à cor amarela.

$$f_M = \frac{(999 - 100)}{44 - 1} = 20,90697 \sim 21 \quad (5.2)$$

Ou seja, a cada acréscimo de milímetro na lâmina de aplicação necessária indicada pelo tubo de alimentação, o valor de prioridade aumenta em aproximadamente 21 pontos, para os milímetros alinhados à cor amarela da régua CS 1.2, face 3. Para simplificação do processo, os valores de prioridade finais são arredondados, eliminando as casas decimais.

Utilizando esta regra para atribuição das prioridades é possível diferenciar o grau de necessidade das culturas pela água num dado momento, mesmo para culturas cujas lâminas de aplicação necessárias, indicadas pelos tubos de alimentação, estejam alinhadas numa mesma cor da régua de manejo. Na Tabela 5.3 são apresentados os valores de prioridades atribuídos aos milímetros de uma seção do tubo de alimentação (10,7 mm a 13 mm) considerando as régua de manejo das cinco propriedades selecionadas.

**Tabela 5.3 – Comparação entre as prioridades atribuídas a uma seção do tubo de alimentação (10,7 mm a 13 mm) para as propriedades selecionadas**

Tubo (mm)	Prioridades Atribuídas Considerando a Face 3 das Régua de Manejo				
	Propriedade A (CS 1.4)	Propriedade B (CS 1.5)	Propriedade C (CS 1.6)	Propriedade D (CS 1.9)	Propriedade E (CS 1.2)
10.7	228	96	87	58	581
10.8	247	97	88	59	602
10.9	265	99	90	60	623
11	283	100	91	62	644
11.1	302	117	93	63	664
11.2	320	133	94	64	685
11.3	339	150	96	65	706
11.4	357	167	97	67	727
11.5	375	183	99	68	748
11.6	394	200	100	69	769
11.7	412	217	116	71	790
11.8	430	233	132	72	811
11.9	449	250	147	73	832
12	467	266	163	74	853
12.1	485	283	179	76	874
12.2	504	300	195	77	894
12.3	522	316	210	78	915
12.4	540	333	226	80	936
12.5	559	350	242	81	957
12.6	577	366	258	82	978
12.7	595	383	273	84	999
12.8	614	400	289	85	1000
12.9	632	416	305	86	1041
13	650	433	321	87	1081

Observando a tabela, verificamos, por exemplo, que as prioridades atribuídas a cada cultura para reposição de 12,9 mm de lâmina líquida de aplicação são distintas. A cultura da propriedade E, tem o maior valor de prioridade (1041) por já se encontrar na cor vermelha e deverá ter maior preferência para utilização da água disponível para irrigação. As culturas das propriedades A, B e C, apesar de estarem todas alinhadas na cor amarela, possuem valores de prioridades distintos, permitindo que



o sistema diferencie a criticidade da demanda hídrica entre elas e planeje o atendimento de acordo com a disponibilidade.

Na base de dados do sistema, no módulo de cadastro de irrigômetros, deverão ser registradas todas as faces de todos os modelos de réguas de manejo existentes e os respectivos valores de prioridades e cores alinhados a cada milímetro do tubo de alimentação. Este cadastro é estático e deve acontecer na carga inicial da base de dados, realizada pelos administradores do sistema, antes da disponibilização da aplicação para os usuários finais. O módulo também deve registrar o relacionamento de cada milímetro do tubo de alimentação com as marcações da régua temporal, indicando o tempo em minutos necessário para aplicação da lâmina líquida informada. O tempo  $t$ , em minutos, necessário para aplicar uma determinada lâmina líquida na cultura, é calculado pela fórmula a seguir, utilizando a intensidade de aplicação do sistema de irrigação associada a cada modelo de régua temporal.

$$t = \left( \frac{L_L}{I_L} \right) * 60 \quad (5.3)$$

Onde:

$t$  é a intervalo temporal para aplicação da lâmina líquida, em minutos;

$L_L$  é a lâmina líquida apontada pelo tubo de alimentação, em mm;

$I_L$  é a intensidade líquida de aplicação do sistema de irrigação, em mm/h.

O sistema de informações, ao receber as leituras diárias do pluviômetro e do tubo de alimentação dos irrigômetros, irá calcular a lâmina líquida que deve ser aplicada na cultura e, partindo das marcações das réguas de manejo e réguas temporais registradas na base de dados, indicará as prioridades de cada demanda hídrica e os tempos de irrigação necessários para aplicação da lâmina nas culturas. Para exemplificar, foram utilizadas as informações da Tabela 5.4, extraídas dos apêndices (APÊNDICE A, B, C, D e E), com dados coletados dos irrigômetros instalados nas propriedades selecionadas na bacia hidrográfica do Córrego Sossego para o dia 13 de outubro de 2012. Para calcular a lâmina de aplicação de cada cultura, a medida observada no pluviômetro é descontada da medida observada no tubo de alimentação. O módulo de cadastro de irrigômetros, na base de dados do sistema, é então consultado, fornecendo a prioridade e o tempo de irrigação necessário para cada medida de lâmina de aplicação das culturas. A Tabela 5.4 apresenta a lâmina

líquida de aplicação necessária calculada e os valores correspondentes para a prioridade e tempo de irrigação das cinco culturas. Para este dia analisado, as propriedades B e C não irão competir pela água disponível, pois o solo já se encontra em capacidade de campo. Já a propriedade A, terá a maior prioridade para realização da irrigação, por se encontrar em grau mais avançado de déficit hídrico.

**Tabela 5.4 – Dados de leitura dos irrigômetros nas propriedades selecionadas, para o dia 13 de outubro de 2012, e respectivos valores de prioridade e tempo de irrigação**

Propriedade	Chuva (mm)	Tubo (mm)	Lâmina (mm)	Réguas Irrigâmetro	
				Manejo (prioridade)	Temporal (minutos)
A	0.5	14	13.5	742	193
B	0	0	0	-1	0
C	0	0	0	-1	0
D	2	11.7	9.7	45	146
E	0	11.5	11.5	539	363

Quando o irrigômetro é utilizado para o manejo de irrigação em uma propriedade isolada, a cor da régua de manejo já é suficiente para que o produtor possa decidir ou não pela irrigação. Mas quando se deseja operar vários irrigômetros em conjunto, num cenário de baixa disponibilidade hídrica, como é o caso proposto por este trabalho, é necessário mais do que as cores da régua de manejo para definir uma ordem de atendimento. Neste cenário, os valores de prioridades complementam as cores, fornecendo a informação necessária para que o SAD possa planejar as irrigações atendendo preferencialmente às demandas mais críticas.

Importante comentar novamente sobre uma das grandes vantagens de se utilizar o sistema de informações integrado aos irrigômetros. As cinco propriedades selecionadas operaram com o nível de água de 3,5 cm dentro do evaporatório. Esse valor é recomendado por Oliveira e Ramos (2008) para culturas em fase de desenvolvimento 4 (fase final), conforme apresentado na Tabela 3.1 (seção 3.3.4). Com o uso do sistema de informações seria possível, por exemplo, ter utilizado apenas um irrigômetro, se considerarmos que as propriedades estão próximas o suficiente para que as taxas de precipitação e evapotranspiração não sejam tão distintas entre as culturas. Compartilhando um mesmo aparelho entre várias propriedades, com posicionamento adequado para refletir corretamente as taxas de precipitação e evapotranspiração, bastaria que o sistema recebesse, diariamente, as leituras do pluviômetro e evaporímetro. As réguas do aparelho estariam cadastradas

apenas na aplicação e, internamente, o sistema conseguiria gerar as visualizações das régua de manejo e temporais de cada cultura e propriedade atendida.

### 5.2.2 Influência da Precipitação nas Prioridades

Contando com os insumos obtidos nas reuniões com os especialistas em manejo de irrigação e especialistas meteorológicos, também foram avaliados os impactos da utilização de previsões de precipitação nas prioridades das demandas hídricas.

Durante as discussões com os especialistas em meteorologia, foi comentado que a qualidade e confiabilidade das informações de previsão de precipitação, no estado do Espírito Santo, costumam ser baixas. Os dados de previsão comumente utilizados e disponíveis são: (1) a probabilidade de precipitação, em percentual; e (2) a quantidade de milímetros de chuva previstos para o dia. Os especialistas explicaram que a probabilidade associada à previsão, em percentual, deve ser utilizada apenas como um indicativo ou não de chuvas, não tendo relação direta com a quantidade de milímetros previstos. Comentaram que uma alta probabilidade, acima de 90%, pode ser utilizada com bom nível de acerto para a ocorrência de chuvas, mas possui baixa confiabilidade quando utilizada em conjunto com a quantidade de milímetros previstos.

Considerando as informações disponíveis e a baixa taxa de acerto, o especialista com atuação local na bacia hidrográfica do Córrego Sossego e os especialistas em manejo de irrigação, inicialmente, não recomendaram a utilização das previsões de precipitação nos cálculos do sistema para alocação da água disponível entre as culturas, devido ao grande risco de afetarem a produção agrícola. Porém, concordaram que as previsões poderiam ser utilizadas nos cenários de alta probabilidade de ocorrência de chuvas e sem riscos imediatos para a cultura caso a previsão não se concretizasse. Com esta orientação, foram definidas as seguintes regras para utilização das previsões de precipitação em conjunto com o sistema.

- **Alta probabilidade de ocorrência de chuvas:** os cálculos de otimização para distribuição da água disponível entre as culturas só deverão considerar

as previsões de precipitação quando a probabilidade for superior a um determinado valor, parametrizado por outorga coletiva ou região. Por exemplo, probabilidades de precipitação maiores ou iguais a 95%.

- **Margem de segurança no indicativo do momento de irrigar:** mesmo quando a probabilidade de precipitação for maior ou igual ao valor parametrizado no sistema, apenas as culturas cuja prioridade de irrigação atribuída for inferior a um determinado valor deverão sofrer influência das previsões. Por exemplo, culturas com prioridades menores ou iguais a 550, metade da faixa amarela da régua de manejo.
- **Ajuste na lâmina líquida de aplicação:** a quantidade de milímetros de chuva previstos para o dia deverá ser descontada da lâmina líquida de aplicação obtida da leitura do irrigâmetro (pluviômetro e evaporímetro). Os ajustes deverão ser aplicados apenas para as culturas com prioridades dentro da margem de segurança parametrizada no sistema. Com a nova lâmina líquida, resultado da aplicação da previsão, novos valores de prioridades e tempo de irrigação deverão ser associados às culturas.

As informações da Tabela 5.5, extraídas dos apêndices (APÊNDICE A, B, C, D e E), com dados coletados dos irrigômetros instalados nas propriedades selecionadas na bacia hidrográfica do Córrego Sossego para o dia 24 de dezembro de 2012, podem ser utilizadas para exemplificar a aplicação das regras acima. A tabela apresenta a lâmina líquida de aplicação necessária, calculada pelos dados coletados no pluviômetro e evaporímetro, e os valores correspondentes para a prioridade e tempo de irrigação das cinco culturas, sem considerar o efeito de previsões de precipitação.

**Tabela 5.5 – Dados de leitura dos irrigômetros nas propriedades selecionadas, para o dia 24 de dezembro de 2012, e respectivos valores de prioridade e tempo de irrigação**

Propriedade	Chuva (mm)	Tubo (mm)	Lâmina (mm)	Réguas Irrigâmetro	
				Manejo (prioridade)	Temporal (minutos)
A	0	17.2	17.2	1990	246
B	0	15.1	15.1	783	302
C	0	14.2	14.2	510	85
D	0	7.2	7.2	13	108
E	0	9	9	225	284

Partindo dos dados coletados e calculados da Tabela 5.5, as lâminas líquidas necessárias para as culturas foram ajustadas, considerando uma previsão de

precipitação de 5 mm e 97% de probabilidade de chuvas para o dia. A Tabela 5.6 apresenta a nova lâmina líquida ajustada para as culturas e os respectivos valores de prioridade, tempo de irrigação necessário e cor da régua de manejo associados. É possível observar que as lâminas das propriedades A e B, por terem prioridades superiores a 550, não foram ajustadas, ignorando as previsões de precipitação e, consequentemente, evitando a redução das prioridades que deverão ser utilizadas pela rotina de otimização para alocação de água entre as culturas.

**Tabela 5.6 – Lâmina líquida de aplicação ajustada para as leituras de irrigâmetro do dia 24 de dezembro de 2012, considerando 97% de probabilidade de chover 5 mm**

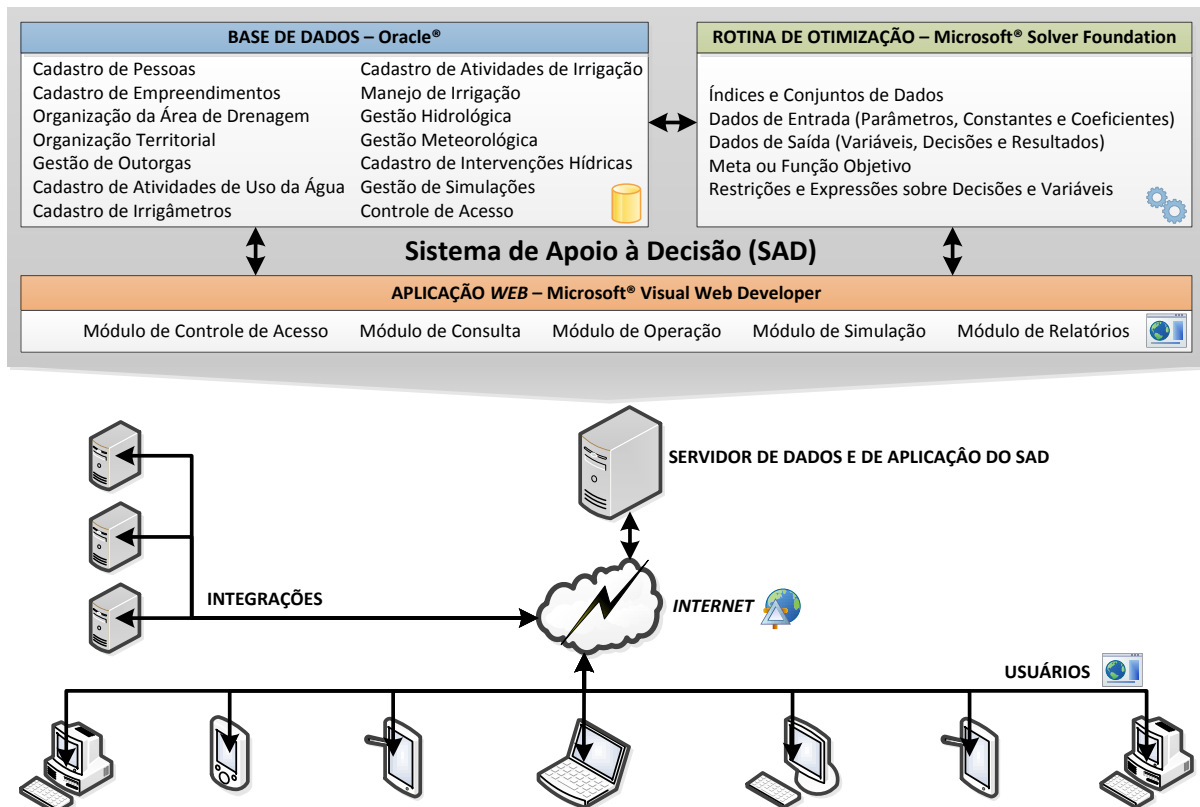
Propriedade	Lâmina Observada (mm)	Lâmina Ajustada (mm)	Réguas Irrigâmetro (Lâmina Ajustada)	
			Manejo (prioridade)	Temporal (minutos)
A	17.2	17.2	1990	246
B	15.1	15.1	783	302
C	14.2	9.2	63	55
D	7.2	2.2	-1	33
E	9	4	-1	126

Deve ser permitido, pela aplicação *web*, habilitar ou não o uso das previsões de precipitação para correção das prioridades de demandas hídricas. E, caso as previsões sejam ativadas para uma outorga coletiva ou região, deve ser possível parametrizar o limite mínimo de probabilidade de precipitação que aciona os ajustes de lâminas e o limite máximo de prioridade de demanda passível de ajustes sem comprometer a cultura. Espera-se que com o uso contínuo do sistema de informações e observação dos dados históricos de operação e seus resultados, estes parâmetros possam ser mais bem calibrados.

### 5.3 DESENVOLVIMENTO DO SAD

A Figura 5.4 apresenta a arquitetura cliente-servidor adotada para implementação do sistema de apoio à decisão. Trata-se de uma estrutura de aplicação distribuída que separa as tarefas e cargas de trabalho entre os fornecedores do serviço, designados como servidores, e os requerentes dos serviços, designados como clientes. Nesta arquitetura, o servidor é um computador, conectado a *internet*, executando permanentemente os serviços ou programas que compartilham recursos com os clientes. No caso do SAD, estes serviços são: (1) a base de dados; (2) as rotinas de

otimização e simulação; e (3) a aplicação *web*. Os clientes ou usuários iniciam sessões de comunicação com os servidores. Por exemplo, um navegador *web* é um programa cliente, em execução no computador do usuário, que acessa as informações armazenadas no servidor *web* do SAD na *internet*.



**Figura 5.4 – Arquitetura cliente-servidor do sistema de apoio à decisão**

Esta arquitetura permite a centralização das informações em um único servidor na *internet* para uso compartilhado por múltiplos usuários, simultaneamente, evitando que as informações fiquem dispersas nos computadores pessoais de cada usuário. Também garante maior segurança no acesso às informações e elimina a necessidade de equipamentos de alto desempenho por parte dos usuários, já que as rotinas de otimização e simulação são executadas remotamente no servidor, deixando apenas o processamento das interfaces para os computadores pessoais e outros dispositivos de acessos, como *tablets*, *smartphones* e *notebooks*. Através do uso da *internet*, também é possível a comunicação entre servidores ou entre o servidor e outros sistemas, particularmente interessante no caso de integrações para troca automática de informações com sistemas de previsão meteorológica e sistemas de telemetria instalados em fluviômetros, irrigômetros e reservatórios.

A seguir serão apresentados os resultados da fase de modelagem e construção para cada um dos serviços que compõe o servidor do SAD.

### 5.3.1 Modelagem e Construção da Base de Dados

Inicialmente, as informações mapeadas para o sistema, apresentadas na seção 5.1.2, foram agrupadas em estruturas de dados. As estruturas de dados são os principais objetos da base de dados, também conhecidas como entidades ou simplesmente tabelas. As informações características de cada entidade são representadas por atributos ou colunas. Os relacionamentos entre as estruturas, também frutos da fase de mapeamento, foram criados na sequência. Por fim, os objetos foram organizados em diagramas, de acordo com os grupos funcionais definidos para o sistema. Esta modularização, além de facilitar a documentação do modelo de dados, confere maior flexibilidade para que novas informações sejam incorporadas no sistema, em manutenções futuras. Os diagramas de entidades e relacionamentos são o resultado da modelagem de dados de um sistema de informações, onde é possível representar as estruturas de dados com seus relacionamentos e atributos.

Na modelagem dos atributos, foram registradas as seguintes propriedades e características referentes ao dado que será armazenado.

- **Tipo de dado:** propriedade que informa se o conteúdo é uma data, uma hora, um texto com determinado tamanho, um valor numérico com determinada precisão ou um dado geométrico utilizado para georreferenciamento.
- **Obrigatoriedade:** propriedade que indica se o atributo é mandatório. Neste caso, sempre que cadastrado um novo registro para a tabela, o seu valor deverá ser preenchido.
- **Unicidade:** indica que os valores cadastrados para o atributo são únicos e não se repetem em outros registros na mesma tabela.
- **Chave primária:** indica que a coluna é um registro de indexação que não se repete e que pode ser utilizado como um índice para os demais campos da






tabela no banco de dados. A chave primária é utilizada para garantir os relacionamentos entre as entidades.

- **Chave estrangeira:** propriedade utilizada quando há o relacionamento entre duas tabelas. Uma chave estrangeira é um campo que aponta para a chave primária de outra tabela ou da mesma tabela. A finalidade da chave estrangeira é garantir a integridade dos dados referenciais, pois apenas serão permitidos valores já existentes como chave primária na base de dados.

A base de dados também deverá armazenar o histórico de operação do sistema, permitindo a possibilidade de investigações nos dados, auditorias e novas simulações sobre o dado do passado. Para isso, todas as entidades foram modeladas com atributos especiais que registram a data e horário de criação ou atualização de seus registros e a identificação do usuário de criação e atualização. Também foram modelados atributos para registrarem as datas de início e fim de vigência dos registros, informando o período em que o dado se manteve em uso na base de dados, sem alterações e permitindo o versionamento do conteúdo.

Os relacionamentos, na base de dados, são associações entre entidades, realizadas através das chaves (chave estrangeira e chave primária). No modelo de dados, todas as chaves foram nomeadas como identificadores, facilitando a visualização nos diagramas e a associação nos relacionamentos. É possível representar vários níveis de relacionamentos, alguns deles utilizados no sistema (Tabela 5.7).

**Tabela 5.7 – Principais tipos de relacionamentos entre tabelas de um modelo de dados**

Nível	Descrição	Representação
1..1	O relacionamento um-para-um é usado quando uma entidade A se relaciona com uma entidade B e vice-versa.	
0..1	Variação do relacionamento um-para-um, indicando que a relação nem sempre existirá, já que a informação em A não é mandatória.	
1..n	O relacionamento um-para-muitos é usado quando uma entidade A pode se relacionar com uma ou mais entidades B.	
1..[0-n]	Variação do relacionamento um-para-muitos, indicando que a relação nem sempre existirá, já que a informação em B não é mandatória.	
0..[0-n]	Variação do relacionamento um-para-muitos, indicando que a relação nem sempre existirá, já que a informação em A e em B não é mandatória.	

Para a criação dos relacionamentos, foi necessário analisar a cardinalidade das informações mapeadas. A cardinalidade é um dos princípios fundamentais sobre o relacionamento de objetos no banco de dados. Nela é definido o grau de relação



entre duas tabelas. Uma das principais funções da cardinalidade é garantir a integridade dos dados, em concordância com as regras de negócio.

Utilizando a ferramenta de modelagem, também foi possível registrar metadados. Os metadados são dados sobre outros dados, e facilitam o entendimento do uso da informação e dos relacionamentos existentes entre as estruturas criadas. Para cada coluna, de cada uma das tabelas, foi registrada uma definição funcional, com exemplos de conteúdo e possíveis relacionamentos. A eficiência na gestão das informações armazenadas na base de dados (BD) diz respeito à capacidade que o modelo possui para relacionar informações complementares, organizar o conhecimento em categorias lógicas para evitar a duplicidade de dados, e estabelecer regras sobre os atributos a fim de manter a integridade das informações.

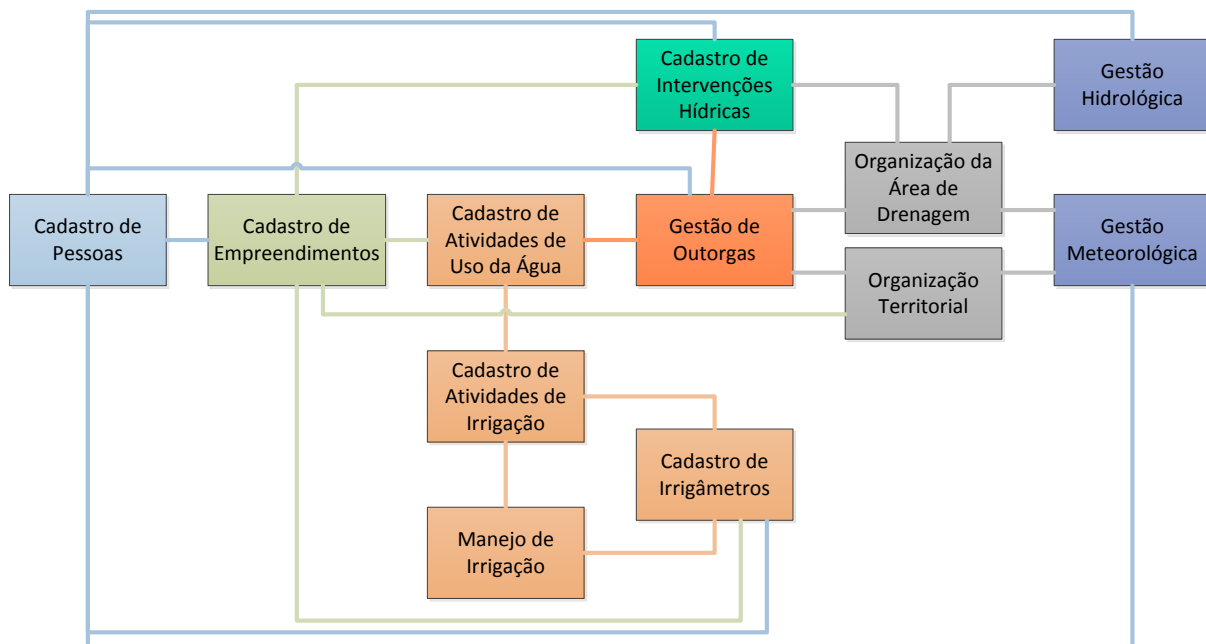
Após a finalização da modelagem, a própria ferramenta computacional utilizada realiza a criação da base de dados no SGBDR, automaticamente. Posteriormente, as informações de tabelas complementares e outros qualificadores de dados, de domínio fixo e imutável, foram carregados na BD, durante a carga inicial. Apesar do georreferenciamento de objetos estar modelado, não foram carregados dados geográficos neste momento. As informações relacionadas à organização territorial e da rede de drenagem foram populadas numa carga inicial com um conteúdo mínimo, apenas para permitir a realização dos testes de validação da rotina de otimização e das interfaces *web* desenvolvidas. As demais informações modeladas, com conteúdo dinâmico, devem ser cadastradas e atualizadas pelas telas do sistema na *web*. Para facilitar a integração entre base de dados e aplicação *web*, foi criada, nesta, uma série de procedimentos para leitura, inserção, deleção e atualização das informações. Estas rotinas para manipulação de dados são executadas através de comandos, dados pelos usuários, nas telas da aplicação, enviando os dados das interfaces para a base de dados e vice-versa. Desta forma, não é exigido da aplicação *web*, o conhecimento dos relacionamentos entre as entidades e a preocupação pela integridade dos dados.

Nas seções seguintes serão apresentados os relacionamentos entre os grupos funcionais modelados e os diagramas de entidades e relacionamentos dos módulos Gestão de Simulações e Controle de Acesso. Através dos diagramas, será possível

analisar as principais entidades criadas, seus atributos e relacionamentos, além de algumas particularidades explicitadas durante a apresentação.

### 5.3.1.1 Relacionamentos entre os Grupos Funcionais

À exceção dos grupos funcionais Gestão de Simulações e Controle de Acesso, que terão seus diagramas de entidades e relacionamentos apresentados em detalhes nas seções 5.3.1.2 e 5.3.1.3, respectivamente, todos os demais módulos de informações disponibilizados no banco de dados são apresentados na Figura 5.5, incluindo os relacionamentos entre eles.



**Figura 5.5 – Diagrama de relacionamentos entre os grupos funcionais do banco de dados**

Os diagramas de entidades e relacionamentos, com detalhes das entidades ou tabelas, atributos ou colunas, e relacionamentos modelados, para cada grupo funcional ou módulo do banco de dados ilustrado na Figura 5.5, são apresentados nos apêndices deste trabalho: (1) Cadastro de Pessoas (APÊNDICE J); (2) Cadastro de Empreendimentos (APÊNDICE K); (3) Organização da Área de Drenagem (APÊNDICE L); (4) Organização Territorial (APÊNDICE M); (5) Gestão de Outorgas (APÊNDICE N); (6) Cadastro de Atividades de Uso da Água (APÊNDICE O); (7) Cadastro de Irrigômetros (APÊNDICE P); (8) Cadastro de Atividades de Irrigação

(APÊNDICE Q); (9) Manejo de Irrigação (APÊNDICE R); (10) Gestão Hidrológica (APÊNDICE S); (11) Gestão Meteorológica (APÊNDICE T); e (12) Cadastro de Intervenções Hídricas (APÊNDICE U).

O módulo Cadastro de Empreendimentos, possui relacionamentos com o módulo Cadastro de Pessoas, permitindo a identificação do usuário titular ou principal da propriedade, e do responsável técnico, caso exista. Tendo como foco a agricultura familiar, a tabela Pessoas, objeto central do módulo Cadastro de Pessoas (APÊNDICE J), foi modelada com um auto relacionamento, garantindo o cadastro de associações entre pessoas e tornando possível indicar, por exemplo, um usuário titular e vinculá-lo a usuários dependentes, como esposa e filhos. Através da tabela Endereço, o módulo Cadastro de Empreendimentos (APÊNDICE K) se relaciona com o módulo Organização Territorial (APÊNDICE M), permitindo a localização geográfica dos endereços com informações georreferenciadas. A tabela de endereços também é compartilhada com o módulo Cadastro de Pessoas.

A tabela Arco Hidrografia, do módulo Organização da Área de Drenagem (APÊNDICE L), também foi modelada com um auto relacionamento, garantindo a identificação do arco a jusante e permitindo que o sistema navegue pela rede hidrográfica, a jusante e a montante de qualquer segmento de drenagem.

A tabela Processo Outorga, objeto central do módulo Gestão de Outorgas (APÊNDICE N), possui relacionamentos com os módulos Cadastro de Pessoas, Organização da Área de Drenagem e Organização Territorial. Estes relacionamentos permitem a identificação do analista responsável pela gestão do processo de outorga e a delimitação da região geográfica e da região hidrográfica atendidas.

A entidade central do módulo Cadastro de Atividades de Uso da Água (APÊNDICE O) é a tabela Atividade Irrigação, relacionada às tabelas Processo Outorga e Empreendimento. Os relacionamentos permitem que seja identificada a propriedade e localização da atividade, o processo de outorga e os usuários atendidos.

A tabela Irrigâmetro, do módulo Cadastro de Irrigâmetros (APÊNDICE P), possui relacionamentos com as entidades Pessoa e Empreendimento. Estes

relacionamentos permitem a identificação do técnico responsável pela manutenção e operação diária do aparelho, e a propriedade de instalação.

Através da tabela Cultura, com atributos que permitem a caracterização de cada cultura irrigada, o módulo Cadastro de Atividades de Irrigação (APÊNDICE Q) se relaciona com o módulo Cadastro de Atividades de Uso da Água, permitindo a identificação da outorga e do empreendimento associados à cultura. A tabela também possui relacionamentos com o módulo Cadastro de Irrigômetros, necessário para a identificação do aparelho utilizado no manejo da irrigação e a sua configuração de réguas.

O módulo Manejo de Irrigação (APÊNDICE R), tendo como objeto central a tabela Manejo Irrigação, se relaciona com os módulos Cadastro de Atividades de Irrigação e Cadastro de Irrigômetros. Os relacionamentos permitem a identificação da área plantada e o monitoramento diário das leituras das réguas de irrigômetro para a cultura manejada.

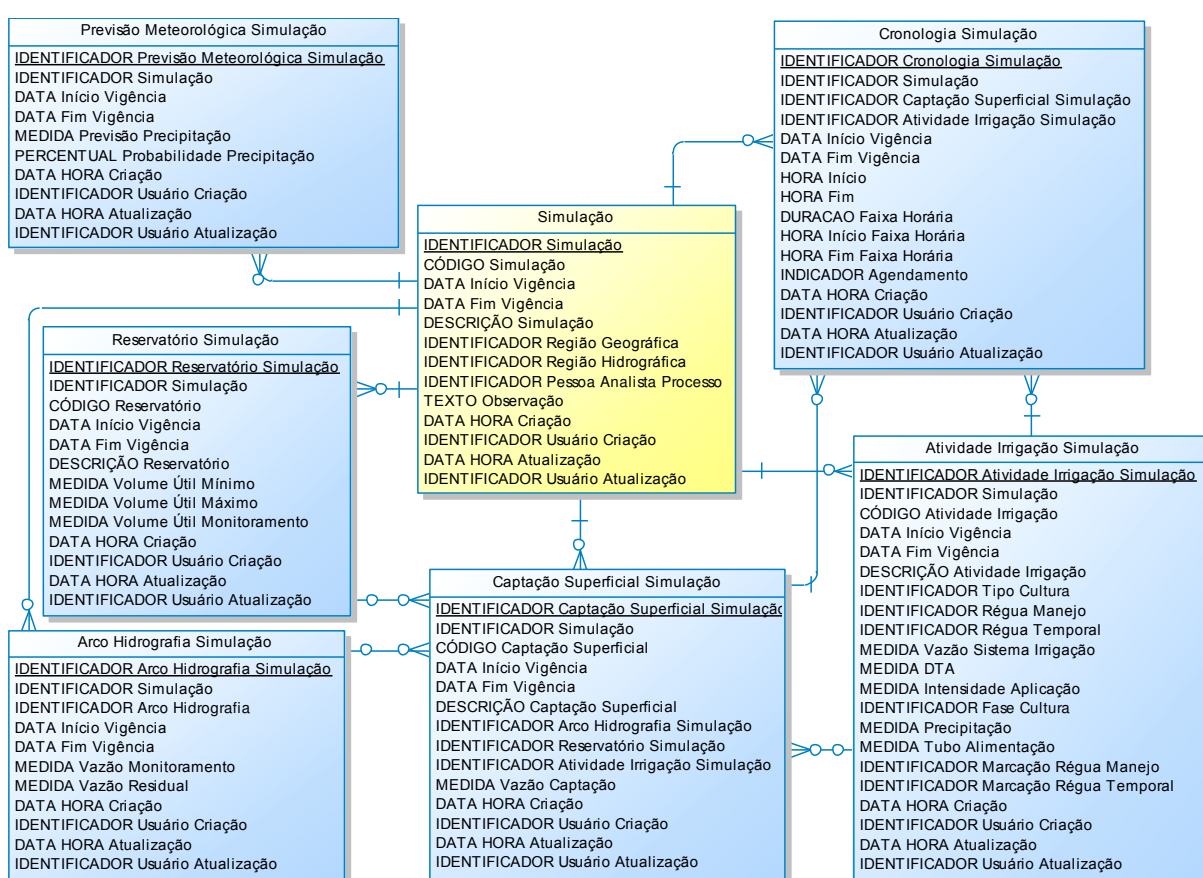
O módulo Gestão Hidrológica (APÊNDICE S) está relacionado aos módulos Organização da Área de Drenagem e Cadastro de Pessoas, permitindo a localização das medições de vazões na rede hidrográfica e a identificação do analista responsável pelas medições e cálculos de disponibilidade.

O módulo Gestão Meteorológica (APÊNDICE T), representado pela tabela Previsão Meteorológica, possui relacionamentos com os módulos Cadastro de Pessoas, Organização Territorial e Organização da Área de Drenagem. Estes relacionamentos permitem a identificação do analista responsável pela previsão de precipitação, e a delimitação da região geográfica e da região hidrográfica de referência.

Todas as entidades que representam intervenções hídricas, do módulo Cadastro de Intervenções Hídricas (APÊNDICE U), são objetos georreferenciados no banco de dados. As entidades possuem relacionamentos com as tabelas Processo Outorga, Arco Hidrografia, Pessoa e Empreendimento, permitindo a identificação dos responsáveis pela outorga e pela intervenção, localização da interferência hídrica e usuários atendidos.

### 5.3.1.2 Gestão de Simulações

O módulo Gestão de Simulações agrega, em um único diagrama de entidades e relacionamentos, todos os principais componentes da base de dados necessários para a execução da rotina de otimização. A Figura 5.6 apresenta o diagrama com as principais tabelas e relacionamentos criados para o grupo funcional. A tabela Simulação é o objeto central do submodelo e é responsável por interligar cada uma das estruturas de dados necessárias para os cálculos do modelo de otimização.



**Figura 5.6 – Diagrama de entidades e relacionamentos do módulo Gestão de Simulações**

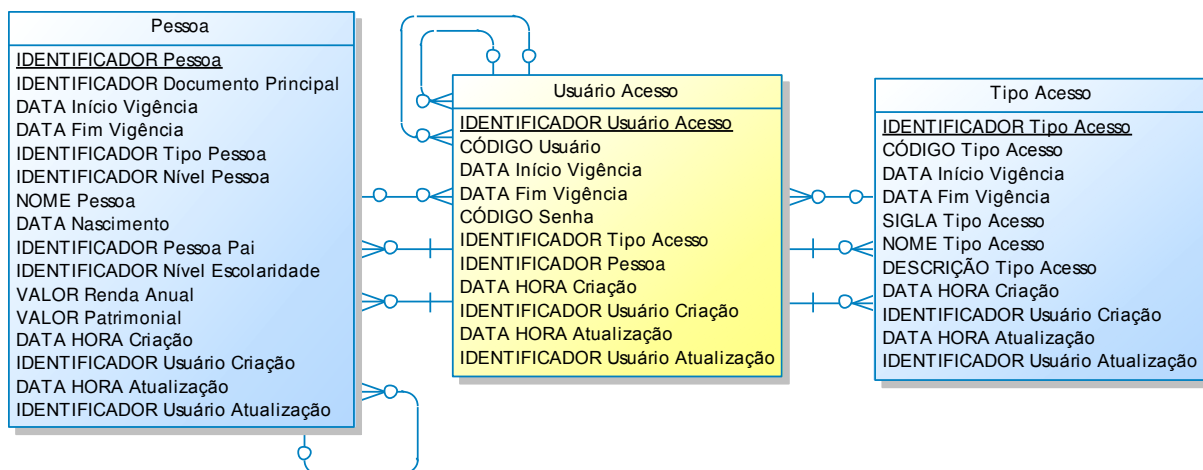
A tabela Simulação, além de atributos que permitem identificar cada uma das simulações no sistema, também possui relacionamentos com as entidades Pessoa, Região Geográfica e Região Hidrográfica. Estes relacionamentos permitem a identificação do analista responsável pela criação e execução do teste, e a delimitação da região geográfica e da região hidrográfica utilizada.

As demais estruturas de dados replicadas para o módulo são apresentadas a seguir.

- **Captação Superficial Simulação:** entidade utilizada para registrar os atributos da intervenção hídrica e relacionamentos com as entidades de origem e destino da água captada, como arco de hidrografia, reservatório e atividade de irrigação.
- **Arco Hidrografia Simulação:** tabela utilizada para cadastro dos arcos da região hidrográfica de simulação. Os arcos podem estar relacionados a uma intervenção hídrica, como origem de captação superficial.
- **Reservatório Simulação:** objeto que registra os reservatórios da simulação e seus atributos. Os reservatórios podem estar relacionados às intervenções hídricas, como origem ou destino de captação superficial.
- **Atividade Irrigação Simulação:** estrutura de dados para cadastro dos atributos das culturas irrigadas atendidas pela simulação. Cada cultura deve estar relacionada ao menos a uma intervenção hídrica, como destino de captação superficial.
- **Previsão Meteorológica Simulação:** tabela utilizada para armazenar a estimativa de precipitação e probabilidade de incidência de chuvas considerada na simulação.
- **Cronologia Simulação:** entidade com as agendas e restrições horárias da outorga, culturas e interferências hídricas da simulação.

### 5.3.1.3 Controle de Acesso

A Figura 5.7 apresenta o diagrama com as tabelas e relacionamentos modelados para o grupo funcional Controle de Acesso, responsável pela gestão dos acessos de usuários às telas da aplicação *web* e às informações registradas nos demais módulos do banco de dados. A entidade Usuário Acesso é a principal do submodelo e possui um relacionamento com a tabela Pessoa, garantindo acesso a todas as informações complementares dos usuários do sistema cadastrados no grupo funcional de pessoas. O relacionamento com a tabela Tipo Acesso permite ao sistema identificar o perfil de acesso do usuário e habilitar as telas da aplicação *web* de acordo com as suas permissões.



**Figura 5.7 – Diagrama de entidades e relacionamentos do módulo Controle de Acesso**

### 5.3.2 Modelagem e Construção da Rotina de Otimização

Seguindo as regras levantadas e especificadas durante as fases de concepção e desenho do sistema, a rotina de otimização desenvolvida deverá ser resolvida em intervalos horários, verificando a disponibilidade hídrica da microbacia e demandas hídricas de cada cultura, e planejando a operação dos sistemas de captação e irrigação das propriedades ao longo do dia. O intervalo temporal, inicialmente definido em uma hora, pode ser alterado, se desejável, através de parametrização do sistema, durante o cadastro da outorga coletiva. Os modelos de rede de fluxo, apresentados na revisão bibliográfica, seção 3.4.5 (Equações 3.11 a 3.14), foram utilizados como referência. Devido à complexidade do problema, no decorrer das atividades de modelagem e construção, também foram aplicadas técnicas para linearização e simplificação, demonstradas adiante.

A ferramenta escolhida para o desenvolvimento da rotina de otimização disponibiliza um painel de modelagem integrado ao Microsoft® Excel que permite criar, validar e solucionar os modelos com a utilização de dados para testes cadastrados em planilha eletrônica. Estes dados para simulação, são vinculados, pela própria ferramenta, aos parâmetros de entrada e saída da rotina de otimização, permitindo a execução de vários cenários e armazenamento dos resultados ainda em tempo de desenvolvimento, para comparações. Esta funcionalidade garantiu maior velocidade ao processo de desenvolvimento e refinamento da modelagem, facilitando a busca pela simplificação do problema e por melhor desempenho. A ferramenta de

modelagem também realiza a validação do modelo e a codificação em uma linguagem de modelagem algébrica (AML) própria, chamada de *Optimization Modeling Language* (OML). O código fonte gerado pode ser compartilhado com aplicações externas para integração com bases de dados relacionais e aplicações *web*, procedimento utilizado no projeto. O *solver* para resolução do problema de otimização também pode ser escolhido dentre várias opções disponíveis.

A sequência natural do processo de desenvolvimento da rotina de otimização se inicia pela formulação matemática do problema, com posterior modelagem, construção e testes. Contudo, a realimentação deste fluxo, devido à necessidade de revisão da formulação matemática e modelagem computacional em virtude dos resultados dos testes foram essenciais para se alcançar a versão final. A ferramenta escolhida agregou agilidade a este processo, garantindo maior sinergia entre as etapas. A seguir serão apresentados todos os termos da formulação matemática e os passos da modelagem realizada na ferramenta. O código fonte do modelo de otimização, em OML, gerado automaticamente pelo Microsoft® Solver Foundation, é apresentado na íntegra no APÊNDICE V.

### 5.3.2.1 Índices e Conjuntos de Dados

A declaração dos identificadores é o primeiro passo para a modelagem do problema de otimização. Neste passo, foram identificados os conjuntos de dados (Tabela 5.8) que compõe o problema e que serão referenciados como índices pelos dados de entrada (parâmetros, constantes e coeficientes) e pelos dados de saída (variáveis, decisões e resultados) da rotina de otimização.

**Tabela 5.8 – Índices utilizados na formulação matemática e modelagem do problema**

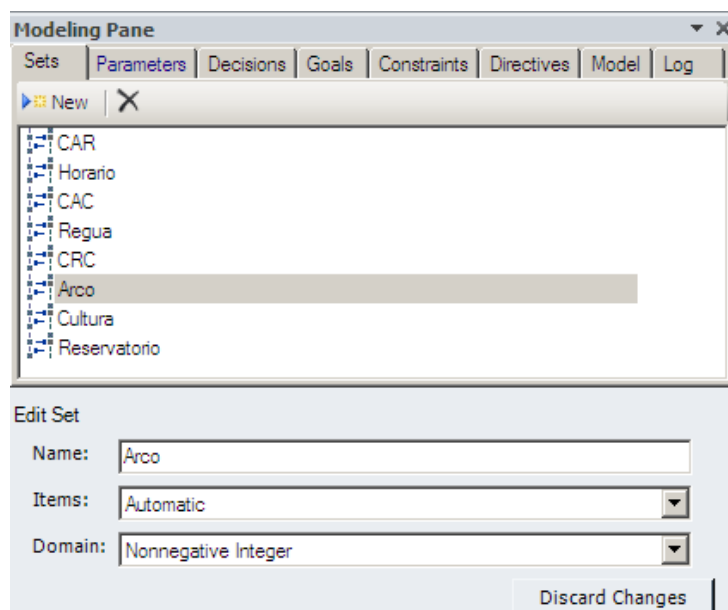
Índice	Descrição
a	arcos
r	reservatórios
c	culturas
i	horários (degraus horários)
j	réguas (degraus horários)
k	CAC (captações arco cultura)
l	CRC (captações reservatório cultura)
m	CAR (captações arco reservatório)



Ao todo, são oito índices distintos, sendo três tipos de captações superficiais, três possíveis origens ou destinos de captações e dois identificadores temporais.

- **Captações Arco Cultura (CAC):** representam as captações superficiais com origem nos arcos da hidrografia e destino para sistemas de irrigação das culturas.
- **Captações Reservatório Cultura (CRC):** representam as captações superficiais com origem nos reservatórios e destino para sistemas de irrigação das culturas.
- **Captações Arco Reservatório (CAR):** representam as captações superficiais com origem nos arcos da hidrografia e destino para reservatórios.
- **Arcos:** representam os arcos da hidrografia ou segmentos da rede drenagem da microbacia e possíveis origens das captações.
- **Reservatórios:** representam os reservatórios da região e possíveis origens ou destinos das captações.
- **Culturas:** representam as culturas irrigadas da microbacia, cujas demandas hídricas devem ser atendidas com água disponível para outorga. São possíveis destinos das captações.
- **Horários:** representam os degraus ou intervalos horários disponíveis para operação dos sistemas de captação e irrigação das propriedades ao longo do dia. O intervalo temporal adotado deve ser definido antes da execução da rotina de otimização e pode ser de qualquer dimensão, de minutos a horas.
- **Réguas:** Este conjunto de dados representa os intervalos temporais disponíveis para irrigação segundo as réguas temporais de irrigâmetros. Por exemplo, supondo que seja adotado um intervalo temporal de uma hora, se a leitura de uma régua temporal informar a necessidade de três horas de irrigação, significa que há disponibilidade para irrigação da cultura em três intervalos temporais. Cada um destes intervalos temporais estará associado a valores de prioridades de irrigação distintos, já que a criticidade pela água será reduzida a cada horário de irrigação efetuada.

A Figura 5.8 apresenta o painel de modelagem dos conjuntos de dados cadastrados na ferramenta de desenvolvimento.



**Figura 5.8 – Painel de modelagem dos conjuntos de dados ou índices da rotina de otimização**

### 5.3.2.2 Dados de Entrada (Parâmetros, Constantes e Coeficientes)

Os dados de entrada (Tabela 5.9) representam propriedades ou características dos índices ou conjuntos de dados do modelo, sendo utilizados como parâmetros, constantes ou coeficientes na função objetivo e nas restrições do problema.

**Tabela 5.9 – Dados de entrada utilizados na formulação matemática e modelagem do problema**

Dados de Entrada	Descrição
$Q_{out_a}$	vazão outorgável no arco a
$J_a$	arco a jusante do arco a
$V_{ini_r}$	volume inicial do reservatório r
$V_{min_r}$	volume útil mínimo do reservatório r
$V_{max_r}$	volume útil máximo do reservatório r
$l_{ini_c}$	leitura do irrigâmetro com a quantidade de horários a irrigar para a cultura c
$Q_{cap_k}$	vazão de captação da CAC k
$Q_{cap_l}$	vazão de captação da CRC l
$Q_{cap_m}$	vazão de captação da CAR m
$A_k$	arco de origem da CAC k
$R_l$	reservatório de origem da CRC l
$A_m$	arco de origem da CAR m
$C_k$	cultura irrigada pela CAC k
$C_l$	cultura irrigada pela CRC l
$R_m$	reservatório de destino da CAR m
$P_{kij}$	prioridade da demanda hídrica para a CAC k, no horário i, pela régua j
$P_{lij}$	prioridade da demanda hídrica para a CRC l, no horário i, pela régua j
$P_{mi}$	prioridade da demanda hídrica para a CAR m, no horário i

Os arcos da hidrografia são referenciados como índices em duas informações de entrada: (1) arco a jusante, constante necessária para que o modelo tenha conhecimento de toda a malha hidrográfica e consiga gerenciar os conflitos entre montante e jusante; e (2) vazão outorgável, parâmetro calculado ao descontar a vazão residual definida pelo órgão gestor para o arco da vazão real medida diariamente. O cálculo da vazão outorgável para fins de outorga coletiva, por ser uma simples subtração dos valores de vazão residual e vazão real, é realizado antes da execução da rotina de otimização pelo sistema, durante procedimento automático de consulta à base de dados para obtenção dos dados de entrada.

Os dados de entrada indexados por reservatórios são: (1) volume inicial, parâmetro com o resultado do monitoramento diário do volume de água armazenado; (2) volume útil mínimo, constante informando o menor volume necessário para habilitar a operação de retirada de água dos reservatórios; e (3) volume útil máximo, constante informando a capacidade máxima de água permitida para operação.

Apenas um parâmetro de entrada está diretamente relacionado às culturas. O parâmetro informa a leitura da régua temporal do irrigâmetro convertida em quantidade de intervalos horários necessários de irrigação. As prioridades das demandas hídricas são coeficientes do modelo de otimização indexados pelos três tipos de captações superficiais e estão associados indiretamente às culturas. Nas captações com destino para os sistemas de irrigação, estes coeficientes representam o valor de prioridade atribuído ao nível do tubo de alimentação do irrigâmetro em determinado momento ou intervalo horário para a cultura. Ou seja, a prioridade da demanda hídrica da cultura é utilizada como a prioridade da captação superficial que atenderá a esta cultura, e quanto maior o seu valor, maior será a urgência para ativação da captação pela rotina de otimização. Abaixo, é apresentado como estes coeficientes são calculados.

- **Prioridade de Captação Arco Cultura:** coeficiente calculado de forma diferenciada para cada combinação dos índices horário (i) e régua (j), tendo como base a prioridade atribuída para a cultura atendida pela captação. Por exemplo, supondo a adoção de um intervalo temporal de uma hora, se a leitura da régua temporal do irrigâmetro informar a necessidade de três horas de irrigação, significa que há disponibilidade para irrigação da cultura em três

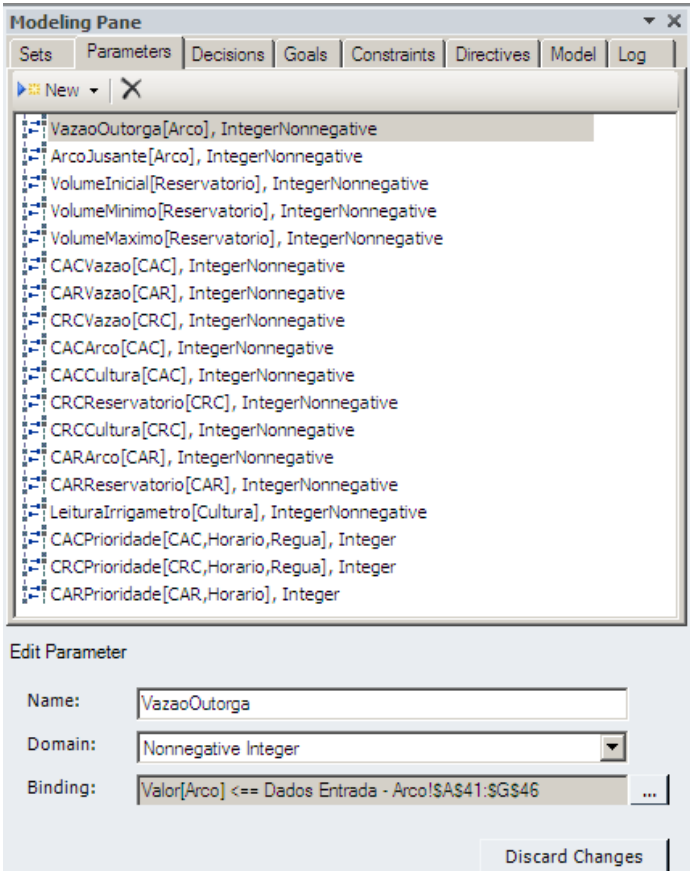
intervalos temporais distintos. Cada um destes intervalos temporais, índice régua (j), estará associado a uma prioridade de irrigação diferente, já que a criticidade pela água será reduzida a cada horário de irrigação efetuada. Como a irrigação poderá ocorrer em quaisquer intervalos temporais disponíveis para operação, o valor de prioridade definido para o índice régua (j) é repetido para cada índice horário (i). Assim, a rotina tem condições de escolher qual o melhor horário (i) para atendimento da prioridade associada a uma determinada régua (j).

- **Prioridade de Captação Reservatório Cultura:** coeficiente calculado para cada combinação dos índices horário (i) e régua (j), conforme a prioridade de captação arco cultura apresentada anteriormente, tendo como base a prioridade atribuída para a cultura atendida pela captação.
- **Prioridade de Captação Arco Reservatório:** única prioridade não vinculada aos valores atribuídos às marcações do tubo de alimentação de acordo com a régua de manejo. O valor da prioridade será sempre fixo e igual a 1 para todas as captações com destino para reservatórios, em todos os intervalos horários disponíveis para operação. Este valor garante maior preferência pela ativação de captações com destino para os sistemas de irrigação.

O cálculo das prioridades por régua (j), incluindo a correção pela previsão de precipitação caso ativada no sistema, é realizado antes da execução da rotina de otimização pelo sistema, durante procedimento automático de consulta à base de dados para obtenção dos dados de entrada. Os valores de prioridade só são atribuídos caso atendam às restrições horárias definidas para outorga, cultura e captação. Caso contrário, a prioridade em determinado intervalo horário será fixa e igual a -1, impedindo a rotina de ativar a operação da captação.

Outras informações de entrada, apresentadas na Tabela 5.9, também referenciam as captações superficiais como índices, representando as suas origens e destinos. Estas constantes, associadas às interferências hídricas, identificam os arcos da hidrografia, reservatórios e culturas atendidas. As vazões de captação, para cada interferência hídrica, também deve ser informada como uma constante de entrada do modelo, sendo essencial para gerenciamento da disponibilidade hídrica nos cursos d'água e reservatórios da microbacia ao longo do período de operação diário.

Todos os dados de entrada, definidos no modelo matemático de otimização, são mandatórios para a execução da rotina de otimização. A Figura 5.9 apresenta o painel de modelagem destas informações na ferramenta de desenvolvimento. Através da ferramenta, é possível associar os dados de entrada com os índices do modelo e registrar o domínio de cada informação. As tabelas apresentadas na figura são exemplos de dados de entrada de testes associados a reservatórios. Estes dados, cadastrados em planilha eletrônica, são vinculados ao modelo pelo painel de modelagem, podendo ser utilizados para validação e testes da rotina de otimização.



**Modeling Pane**

Sets Parameters Decisions Goals Constraints Directives Model Log

New X

- VazaoOutorga[Arco], IntegerNonnegative
- ArcoJusante[Arco], IntegerNonnegative
- VolumeInicial[Reservatorio], IntegerNonnegative
- VolumeMinimo[Reservatorio], IntegerNonnegative
- VolumeMaximo[Reservatorio], IntegerNonnegative
- CACVazao[CAC], IntegerNonnegative
- CARVazao[CAR], IntegerNonnegative
- CRCVazao[CRC], IntegerNonnegative
- CACArco[CAC], IntegerNonnegative
- CACCultura[CAC], IntegerNonnegative
- CRCReservatorio[CRC], IntegerNonnegative
- CRCultura[CRC], IntegerNonnegative
- CARArco[CAR], IntegerNonnegative
- CARReservatorio[CAR], IntegerNonnegative
- LeituraIrrigametro[Cultura], IntegerNonnegative
- CACPrioridade[CAC,Horario,Regua], Integer
- CRCPrioridade[CRC,Horario,Regua], Integer
- CARPrioridade[CAR,Horario], Integer

**Edit Parameter**

Name: VazaoOutorga

Domain: Nonnegative Integer

Binding: Valor[Arco] <== Dados Entrada - Arco!\$A\$41:\$G\$46

Discard Changes

Reserv.	Código	Valor	Unidade
1	Vini <sub>1</sub>	5	l
2	Vini <sub>2</sub>	6	l
3	Vini <sub>3</sub>	0	l
4	Vini <sub>4</sub>	3	l
5	Vini <sub>5</sub>	4	l

Reserv.	Código	Valor	Unidade
1	Vmin <sub>1</sub>	1	l
2	Vmin <sub>2</sub>	2	l
3	Vmin <sub>3</sub>	1	l
4	Vmin <sub>4</sub>	1	l
5	Vmin <sub>5</sub>	2	l

Reserv.	Código	Valor	Unidade
1	Vmax <sub>1</sub>	10	l
2	Vmax <sub>2</sub>	12	l
3	Vmax <sub>3</sub>	14	l
4	Vmax <sub>4</sub>	8	l
5	Vmax <sub>5</sub>	20	l

Figura 5.9 – Painel de modelagem dos dados de entrada da rotina de otimização (esquerda) e exemplos de tabelas com dados referenciados para simulações (direita)

### 5.3.2.3 Dados de Saída (Variáveis, Decisões e Resultados)

Os dados de saída (Tabela 5.10) são os resultados gerados pela execução da rotina de otimização e podem referenciar um ou mais conjuntos de dados ou índices do modelo matemático.

**Tabela 5.10 – Dados de saída utilizados na formulação matemática e modelagem do problema**

Dado de Saída	Descrição
$x_{kij}$	ativação da CAC k, no horário i, pela régua j
$x_{lij}$	ativação da CRC l, no horário i, pela régua j
$x_{mi}$	ativação da CAR k, no horário i
$q_{ai}$	soma das vazões de captação no arco a, no horário i
$y_{ai}$	soma das vazões de captação no arco a e arcos a montante, no horário i
$v_{ri}$	volume adicionado ou reduzido ao reservatório r, no horário i
$w_{ri}$	volume final do reservatório r, no horário i
$u_{ci}$	leitura final calculada do irrigâmetro para a cultura c, no horário i
$z$	soma das prioridades de todas as captações ativadas

Dentre os dados de saída, três são decisões do modelo e referenciam captações e horários como índices. Estas decisões indicam a ativação ou não, em cada intervalo horário disponível para operação, dos três tipos de captação superficial previstos no escopo. A ativação das captações superficiais com destino para sistemas de irrigação de culturas também referenciam a régua (j) como índice, indicando o intervalo temporal atendido segundo as régua temporais de irrigâmetros.

Apenas uma variável está diretamente relacionada às culturas e informa a leitura da régua temporal do irrigâmetro convertida em quantidade de intervalos horários necessários de irrigação no final de cada intervalo temporal do problema de otimização. Assim, é possível monitorar o efeito das irrigações realizadas ao longo do dia na régua temporal do irrigâmetro e consequentemente nas prioridades da demanda hídrica de cada cultura a cada intervalo temporal.

Duas variáveis estão associadas aos arcos da hidrografia e horários. Uma delas registra a soma das vazões de captação ativadas no arco em cada intervalo temporal disponível para operação e a outra registra a soma das vazões de captação ativadas no arco e em arcos a montante em cada intervalo temporal. As variáveis são utilizadas pela rotina para evitar que as vazões de captação superem a vazão outorgável em cada arco ao longo do período de operação.

Outras duas variáveis estão associadas aos reservatórios e horários, e são utilizadas pela rotina com o objetivo de garantir que os volumes dos reservatórios sejam mantidos entre os valores mínimos e máximos permitidos ao longo de todo o período de planejamento. Uma destas variáveis registra o volume carregado ou extraído do reservatório pelas captações em cada intervalo temporal disponível para operação e a outra registra o volume final do reservatório a cada intervalo temporal.

Finalmente, a último dado de saída apresentado na Tabela 5.10 é o resultado final da execução da rotina de otimização, a soma das prioridades de todas as captações ativadas ao longo de todo o período disponível para operação. Como veremos, a meta do modelo de otimização é, justamente, a maximização deste valor.

A Figura 5.10 apresenta o painel de modelagem dos dados de saída cadastrados na ferramenta de desenvolvimento. Assim como os dados de entrada, os dados de saída também podem ser associados aos índices do modelo e ter seus domínios especificados, através da ferramenta. A tabela apresentada na figura é um exemplo de dado de saída (volume final de reservatório por horário) gerado por testes. A tabela, em planilha eletrônica, é vinculada ao modelo pelo painel de modelagem e seus dados são gerados durante a validação e testes da rotina de otimização.

Res.	Hor.	Cód.	Valor	Un.
1	1	$w_{11}$	2	
1	2	$w_{12}$	6	
1	3	$w_{13}$	3	
2	1	$w_{21}$	4	
2	2	$w_{22}$	2	
2	3	$w_{23}$	2	
3	1	$w_{31}$	2	
3	2	$w_{32}$	2	
3	3	$w_{33}$	2	
4	1	$w_{41}$	1	
4	2	$w_{42}$	1	
4	3	$w_{43}$	1	
5	1	$w_{51}$	4	
5	2	$w_{52}$	4	
5	3	$w_{53}$	4	

**Figura 5.10 – Painel de modelagem dos dados de saída da rotina de otimização (esquerda) e exemplo de tabela com dados gerados por simulações (direita)**

#### 5.3.2.4 Meta ou Função Objetivo

A meta do problema de otimização é atender ao máximo de demandas hídricas possíveis ao longo do período diário disponível para operação, dando preferência, prioritariamente, às demandas com maior prioridade. A formulação matemática desta

meta é apresentada nas Equações 5.4 e 5.5, onde o resultado da função objetivo ( $z$ ) deve ser maximizado.

$$\max z \quad (5.4)$$

$$z = \sum_k \sum_i \sum_j x_{kij} \cdot P_{kij} + \sum_l \sum_i \sum_j x_{lij} \cdot P_{lij} + \sum_m \sum_i x_{mi} \cdot P_{mi} \quad (5.5)$$

A função objetivo é representada como o somatório dos produtos das decisões e prioridades associadas aos três tipos de captações. Por definição, as decisões ( $x_{kij}$ ,  $x_{lij}$  e  $x_{mi}$ ) só podem assumir dois valores: (0) zero, indicando que a captação não foi ativada em determinado intervalo temporal; e (1) um: indicando a ativação da captação correspondente no intervalo horário. Assim, o resultado da função objetivo será a soma das prioridades atendidas, já que as prioridades de captações não ativadas são desconsideradas do somatório enquanto que as captações ativadas são contabilizadas. Como o objetivo é maximizar o resultado da função, a rotina necessariamente ativará as captações com maior valor de prioridade associado, desde que também atendam às restrições impostas, que serão vistas mais adiante.

Como é possível observar, na Equação 5.5, a função objetivo foi especificada com três termos, um para cada tipo de captação superficial do problema. Esta estratégia de modelagem que divide a função objetivo em partes, denominada de Programação Não Linear Separável por Partes (PNLSP), tem como finalidade a simplificação do problema de otimização, conforme apresentado na revisão bibliográfica, seção 3.4.4.4. Caso a simplificação não fosse realizada, teríamos apenas um conjunto de dados para as captações superficiais, apenas uma prioridade como dado de entrada do problema e a função objetivo seria formada por um único termo. Porém, durante a execução do problema, seria necessário verificar o tipo de captação em tempo de resolução para garantir o atendimento a restrições específicas referentes às origens e aos destinos das captações. Dependendo das origens e destinos das captações, a prioridade associada teria um cálculo distinto, devendo ser calculado de forma diferenciada a cada iteração do problema, afetando diretamente o desempenho.

Outro ponto de simplificação no modelo foi a realização dos cálculos das prioridades por tipo de captação e intervalos temporais anteriores a execução da rotina. Deste modo, as prioridades puderam ser utilizadas como coeficientes da função objetivo,



com valores fixos, previamente calculados. Caso contrário, a prioridade se tornaria uma função horária e variável por tipo de captação, tornando o modelo não linear. O cálculo das prioridades, durante cada iteração do modelo, em tempo de resolução do problema, também impactaria o desempenho e o tempo total de execução.

O modelo linear equivalente, resultado da divisão do problema em trechos lineares, possui um número maior de variáveis e restrições que o modelo não linear original, porém pode ser solucionado por *solvers* de programação linear, como implementações do método Simplex, diminuindo consideravelmente o tempo de execução do problema.

A Figura 5.11 apresenta o painel de modelagem e codificação da função objetivo na ferramenta de desenvolvimento. A formulação matemática (Equações 5.4 e 5.5) é codificada em OML, linguagem de modelagem algébrica própria da ferramenta.

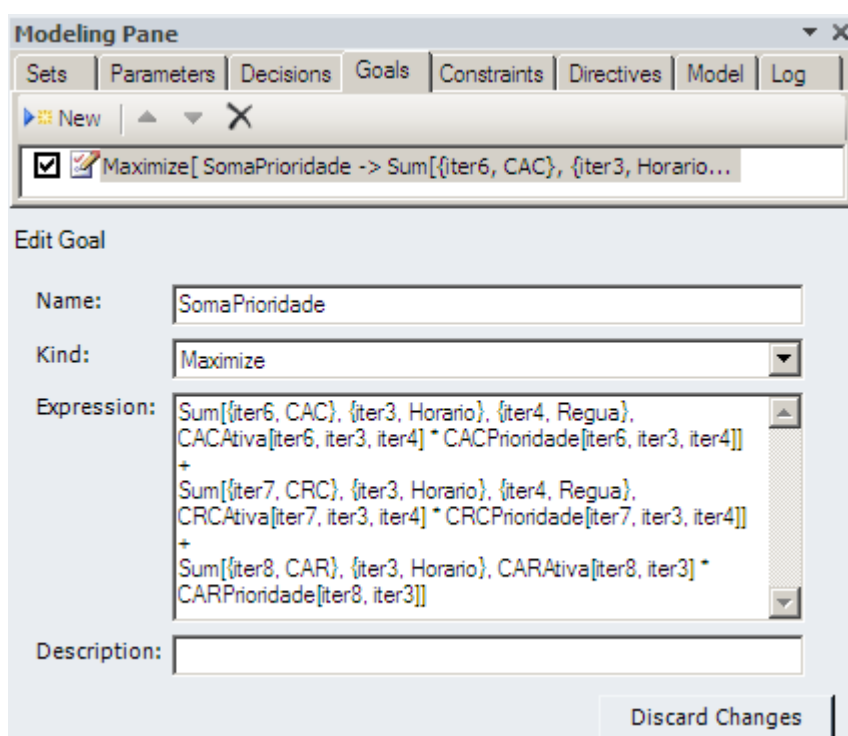


Figura 5.11 – Painel de modelagem da meta da rotina de otimização

### 5.3.2.5 Restrições e Expressões sobre Decisões e Variáveis

A seguir é apresentada a formulação matemática das restrições do problema de otimização. As restrições e outras expressões sobre decisões e variáveis que serão

apresentadas têm como objetivo atender às limitações dos recursos hídricos disponíveis e às demais exigências relacionadas ao problema de alocação de água para o escopo delimitado.

A restrição imposta pela Equação 5.6 limita o escopo de ativação das captações com destino para sistemas de irrigação de culturas. De acordo com a equação, cada cultura poderá ser atendida por apenas uma captação a cada intervalo temporal disponível para operação.

$$\sum_{k, C_k = c} \sum_j x_{kij} + \sum_{l, C_l = c} \sum_j x_{lij} \leq 1, \forall(c, i) \quad (5.6)$$

A Equação 5.7 especifica uma restrição semelhante, também sobre o escopo de ativação das captações com destino para sistemas de irrigação de culturas. De acordo com a equação, o atendimento a demanda da cultura associada ao intervalo temporal representado pela régua (j) só poderá ser atendido uma única vez ao longo de todo o período de operação disponível.

$$\sum_{k, C_k = c} \sum_i x_{kij} + \sum_{l, C_l = c} \sum_i x_{lij} \leq 1, \forall(c, j) \quad (5.7)$$

A Equação 5.8 apresenta a fórmula para cálculo da soma das vazões de captação ativadas no arco da hidrografia em cada intervalo temporal disponível para operação. Já a Equação 5.9 apresenta a fórmula para cálculo da soma das vazões de captação ativadas no arco e em arcos a montante, em cada intervalo temporal. Para realização do cálculo especificado na Equação 5.9, é necessário utilizar o dado de entrada associado aos arcos da hidrografia que identifica o arco a jusante e calcular a soma das captações de maneira recursiva para cada arco a montante. Através da informação de arco a jusante, o modelo consegue representar toda a malha hidrográfica e impedir que as vazões de captação, para cada intervalo temporal, superem a vazão outorgável definida para um determinado arco da hidrografia. Esta última restrição, condição básica para atendimento aos critérios de outorga, está representada na Equação 5.10.

$$q_{ai} = \sum_{k, A_k = a} \sum_j x_{kij} \cdot Qcap_k + \sum_{m, A_m = a} x_{mi} \cdot Qcap_m, \forall(a, i) \quad (5.8)$$

$$y_{ai} = q_{ai} + \sum_{n, J_n = a} y_{ni}, \forall(a, i) \quad (5.9)$$

$$y_{ai} \leq Qout_a, \forall(a, i) \quad (5.10)$$

O volume carregado ou extraído do reservatório pelas captações ativadas em cada intervalo temporal é calculado pela Equação 5.11. A Equação 5.12, apresenta a fórmula para cálculo do volume final dos reservatórios a cada intervalo temporal do problema de otimização. A restrição relacionada à operação dos reservatórios está representada pela Equação 5.13, onde os volumes dos reservatórios ao final de cada intervalo temporal devem ser mantidos entre os volumes mínimos e máximos permitidos.

$$v_{ri} = \sum_{m, R_m = r} x_{mi} \cdot Qcap_m - \sum_{l, R_l = r} \sum_j x_{lij} \cdot Qcap_l, \forall(r, i) \quad (5.11)$$

$$w_{ri} = Vini_r + \sum_{n, n \leq i} v_{ri}, \forall(r, i) \quad (5.12)$$

$$Vmax_r \geq w_{ri} \geq Vmin_r, \forall(r, i) \quad (5.13)$$

A última expressão (Equação 5.14) apresenta a fórmula para cálculo da quantidade de intervalos horários necessários de irrigação para cada cultura, ao final de cada intervalo temporal do problema de otimização. Com esta equação é possível acompanhar, ao longo da operação, o efeito das irrigações realizadas na régua temporal do irrigâmetro e consequentemente nas prioridades das demandas.

$$u_{ci} = Iini_c - \sum_{k, C_k = c} \sum_{n, n \leq i} \sum_j x_{knj} - \sum_{l, C_l = c} \sum_{n, n \leq i} \sum_j x_{lnj}, \forall(c, i) \quad (5.14)$$

A Figura 5.12 apresenta o painel de modelagem das restrições e demais expressões sobre decisões e variáveis relacionadas ao problema de otimização. A codificação da Equação 5.10, na ferramenta de modelagem, em linguagem OML, pode ser observada na mesma figura. O código fonte das demais restrições, em OML, pode ser visualizado no APÊNDICE V.

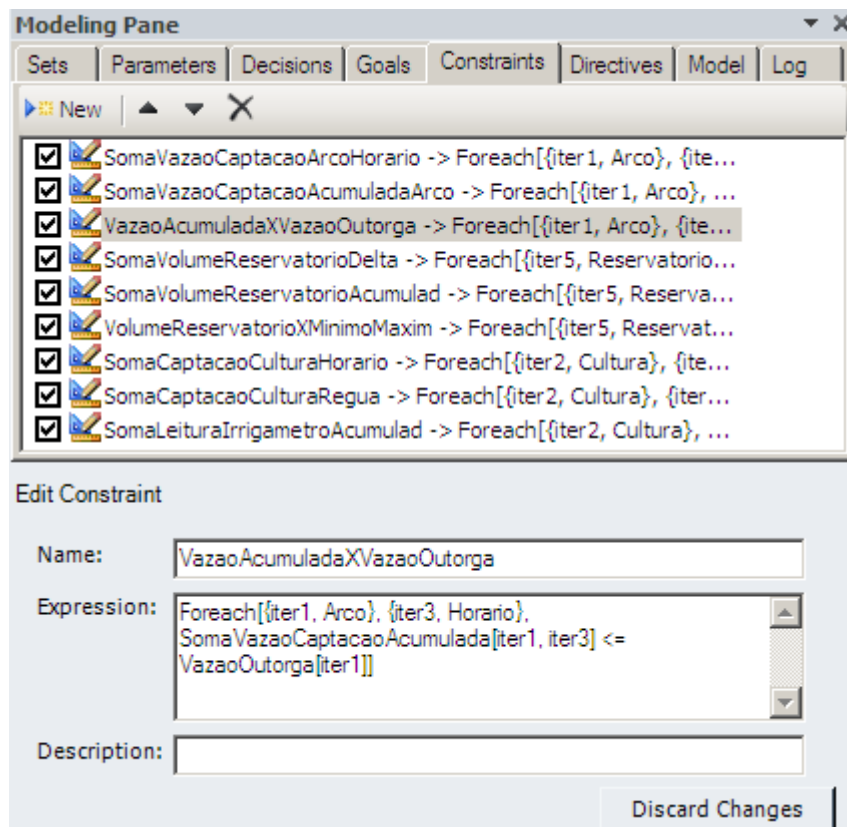


Figura 5.12 – Painel de modelagem das restrições da rotina de otimização

### 5.3.3 Modelagem e Construção do Sistema Web

Os requisitos operacionais do sistema, fruto da fase de concepção e desenho, guiaram o desenvolvimento das telas da aplicação *web*, nomeada de I-PLANTAR, Sistema *Web* para Planejamento em Tempo real do uso da Água em nível Regional.

A Figura 5.13 apresenta a tela inicial do sistema, onde é possível visualizar os principais componentes da interface com os usuários. No canto superior esquerdo está o título da aplicação e no canto superior direito é disponibilizado um *link* (“*Log In*”) para que os usuários se identifiquem. Logo abaixo do título, foi disponibilizada uma barra com o *menu* da aplicação, possibilitando a navegação por todas as telas desenvolvidas. No rodapé de cada página da aplicação é realizada uma referência à UFES, detentora dos direitos da aplicação. E finalmente, no centro de cada página, está a área de trabalho, onde é apresentado o conteúdo das telas acessadas, normalmente com formulários para cadastros e consultas ou relatórios sobre os dados do sistema. Ao navegar pelas funcionalidades e telas da aplicação, apenas o

conteúdo da área de trabalho é alterado. Todos os demais componentes da interface, como título, *menus*, controle de acesso e rodapé, são mantidos e permanecem visíveis durante todo o acesso.



**Figura 5.13 – Tela de entrada da aplicação web com os principais componentes da interface**

A barra de *menus* da aplicação é dinâmica e com até três níveis. Quando o usuário tenta acessar o primeiro nível do *menu*, o segundo nível é apresentado, caso esteja disponível. Ao se tentar acessar o segundo nível, o terceiro nível também é apresentado, caso esteja disponível. Na Figura 5.13, para exemplificar, é apresentado o segundo nível do *menu* Ajuda.

Apenas o último nível de cada *menu* disponibiliza uma tela ou página web para acesso. Com exceção das telas dos *menus* Início e Ajuda, todas as demais páginas da aplicação web foram especificadas como requisitos operacionais do sistema para os módulos Consulta, Operação, Simulação e Relatórios, conforme já documentado na seção 5.1.1.3.

A Tabela 5.11, a seguir, apresenta cada uma das telas desenvolvidas para a aplicação. Todas as telas podem ser acessadas pela barra de *menus*, seguindo os níveis de navegação mapeados na tabela.

**Tabela 5.11 – Mapa de conteúdo dos *menus* da aplicação *web***

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Descrição da Tela
Início			Apresentação do sistema de apoio à decisão.
Outorga	Pessoa	Cadastro	Cadastro de informações para identificação de pessoas.
Outorga	Pessoa	Consulta	Consulta das informações de pessoas.
Outorga	Empreendimento	Cadastro	Cadastro de informações para identificação de empreendimentos.
Outorga	Empreendimento	Consulta	Consulta das informações de empreendimentos.
Outorga	Fluviômetro	Cadastro	Cadastro de informações para identificação e localização de fluviômetros.
Outorga	Fluviômetro	Consulta	Consulta das informações de fluviômetros.
Outorga	Outorga	Cadastro	Cadastro de informações para identificação e gestão de outorgas.
Outorga	Outorga	Consulta	Consulta das informações para gestão de outorgas.
Outorga	Irrigâmetro	Cadastro	Cadastro de informações para identificação e localização de irrigômetros.
Outorga	Irrigâmetro	Consulta	Consulta das informações de irrigômetros.
Outorga	Atividade	Cadastro	Cadastro de informações para identificação das atividades de irrigação.
Outorga	Atividade	Consulta	Consulta das informações das atividades de irrigação.
Outorga	Reservatório	Cadastro	Cadastro de informações para identificação e localização de reservatórios.
Outorga	Reservatório	Consulta	Consulta das informações de reservatórios.
Outorga	Intervenção	Cadastro	Cadastro de informações das captações atendidas pelas outorgas coletivas.
Outorga	Intervenção	Consulta	Consulta das informações de captações superficiais.
Monitoramento	Fluviômetro	Cadastro	Cadastro das vazões medidas pelos fluviômetros da rede hidrográfica.
Monitoramento	Fluviômetro	Consulta	Consulta das vazões medidas pelos fluviômetros da rede hidrográfica.
Monitoramento	Irrigâmetro	Cadastro	Cadastro das informações provenientes da operação dos irrigômetros.
Monitoramento	Irrigâmetro	Consulta	Consulta das informações provenientes da operação dos irrigômetros.
Monitoramento	Reservatório	Cadastro	Cadastro dos volumes de reservatórios monitorados.
Monitoramento	Reservatório	Consulta	Consulta dos volumes de reservatórios monitorados.
Monitoramento	Meteorologia	Cadastro	Cadastro das previsões de precipitação.
Monitoramento	Meteorologia	Consulta	Consulta das previsões de precipitação.
Operação			Consulta do planejamento de operação e cadastro das captações aplicadas.
Relatórios	Grade de Operação		Planejamento da operação das captações de determinada cultura.
Relatórios	Fluviômetros		Histórico de medições coletadas para determinado fluviômetro.
Relatórios	Atividades		Histórico de operação do sistema de irrigação para determinada cultura.
Relatórios	Reservatórios		Histórico de medições coletadas para determinado reservatório.
Relatórios	Intervenções		Histórico de operação das captações de determinada intervenção hídrica.
Simulação	Cadastro		Cadastro e parametrização de simulação com as rotinas de otimização.
Simulação	Consulta		Consulta de simulação com as rotinas de otimização.
Ajuda	Ajuda		Tópicos de ajuda para as principais funcionalidades do sistema.
Ajuda	Manual		Apresentação do manual do usuário completo do sistema.
Ajuda	Sobre		Informações de versão, contatos de suporte e créditos do sistema.

A seguir, serão apresentadas as telas e funcionalidades principais desenvolvidas para cada um destes módulos, incluindo o módulo Controle de Acesso, que gerencia o acesso dos usuários às informações disponibilizadas pela aplicação na *internet*.

### 5.3.3.1 Módulo de Controle de Acesso

O módulo Controle de Acesso é responsável pela gestão das credenciais de acesso de cada usuário à aplicação *web*. São sete perfis de acesso (administração, outorga, irrigâmetro, operação, meteorologia, reservatório e fluviômetro) que podem ser associados às contas criadas para os usuários acessarem a aplicação na *internet*. Os usuários associados ao perfil de administração têm acesso a todas as telas e funcionalidades do sistema, enquanto que os demais perfis habilitam o acesso dos usuários apenas aos módulos Simulação, Relatórios e telas específicas dos módulos Consulta ou Operação relacionadas ao seu escopo de atuação. As regras de

liberação de acesso de cada perfil foram apresentadas como requisitos operacionais, definidos durante a fase de concepção e desenho do sistema, seção 5.1.1.3. Apenas a tela inicial da aplicação (Figura 5.13), apresentada anteriormente, e as telas do *menu* Ajuda estão liberadas para acesso público, sem a necessidade de identificação do usuário no sistema.

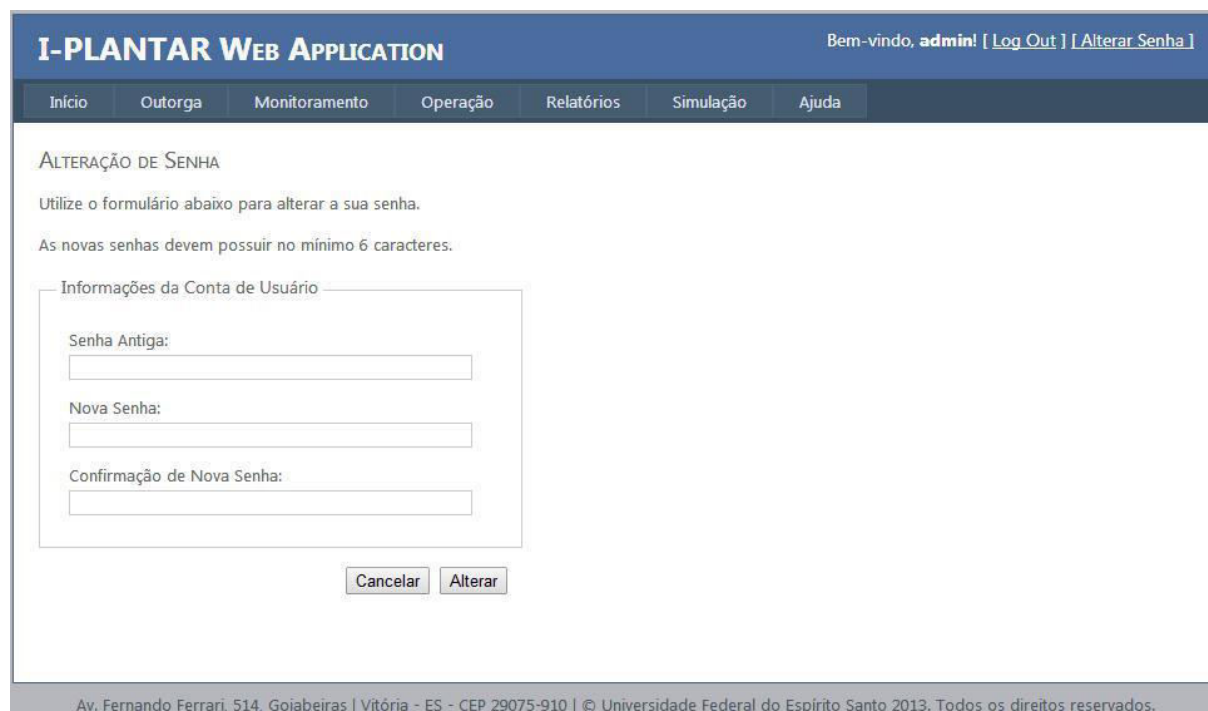
Para se identificar, o usuário deve acessar o *link* “Log In” da aplicação ou tentar acessar qualquer tela dos módulos Consulta, Operação, Simulação ou Relatórios. Automaticamente, o usuário é direcionado para a tela de identificação de usuário (Figura 5.14), onde são solicitadas as suas credenciais de acesso (usuário e senha). Caso o usuário esteja acessando o sistema pela primeira vez e ainda não possua credenciais de acesso, ele deve acessar o *link* “Registre-se” sendo direcionado a uma tela para criação de um novo usuário (Figura 5.14), onde são solicitadas as informações de nome de usuário para acesso, *e-mail*, senha desejada e confirmação da senha. Após a solicitação da chave de acesso pelo sistema, os administradores poderão associar o novo usuário a um perfil de acesso e comunicar a liberação por *e-mail*, ao usuário.

The image displays two side-by-side screenshots of a web application interface. The left screenshot is titled "LOG IN" and contains the text "Por favor, entre com seu usuário e senha." and a link "Registre-se caso ainda não possua uma conta de usuário." Below this is a form titled "Informações da Conta de Usuário" with input fields for "Usuário:" and "Senha:", and a checkbox labeled "Mantenha-me conectado". A "Log In" button is at the bottom right. The right screenshot is titled "CRIAÇÃO DE USUÁRIO" and contains the text "Use o formulário abaixo para criar uma nova conta de usuário." and "As senhas devem possuir no mínimo 6 caracteres." Below this is a form titled "Informações da Conta de Usuário" with input fields for "Usuário:", "E-mail:", "Senha:", and "Confirmação de Senha:". A "Criar Usuário" button is at the bottom right.

**Figura 5.14 – Tela para identificação do usuário (esquerda) e para criação de usuário (direita)**

Ao se identificar, o usuário é recebido com uma mensagem de boas vindas, no canto superior direito da tela, conforme apresentado na Figura 5.15, e passa a ter acesso às telas e funcionalidades liberadas para o seu perfil de acesso. Outros dois *links* são disponibilizados após a identificação e aparecem ao lado da mensagem de boas

vindas: (1) “*Log Out*”, utilizado para que o usuário saia do sistema, sendo redirecionado para a tela de entrada; e (2) “Alterar Senha”, utilizado para que o usuário possa alterar a sua senha de acesso à aplicação (Figura 5.15).



**Figura 5.15 – Tela para troca de senha de acesso da conta de usuário**

Todas as informações relacionadas às contas de usuários apresentadas nas telas deste módulo, como senhas e perfis de acesso, são armazenadas no módulo Controle de Acesso do banco de dados.

### 5.3.3.2 Módulo de Consulta

O módulo Consulta foi desenvolvido com o objetivo de concentrar, em único *menu* da aplicação, todas as telas de cadastros e de consultas para informações relacionadas a gestão de processos de outorga coletiva. Conforme apresentado anteriormente na Tabela 5.11, foram criadas telas de cadastro e de consulta para as seguintes entidades, abaixo do *menu* Outorga: (1) pessoas; (2) empreendimentos; (3) fluviômetros; (4) outorgas; (5) irrigômetros; (6) atividades; (7) reservatórios; e (8) intervenções. Assim, é possível cadastrar, através das telas, todos os componentes levantados como requisitos operacionais necessários para a gestão de uma outorga coletiva concedida a produtores rurais. Apenas os usuários associados ao perfil



Outorga possuem acesso às telas do módulo. Este perfil deve ser concedido aos analistas de outorgas de órgãos gestores, agências de bacias e comitês locais responsáveis pelo cadastramento da outorga coletiva e entidades relacionadas que serão monitoradas pelo módulo de operação posteriormente.

São disponibilizadas duas telas para cada entidade criada sob o *menu* Outorga: (1) tela de cadastro, utilizada na criação e atualização das informações da entidade; e (2) tela de consulta, utilizada na realização de buscas por informações já cadastradas para visualização ou alterações. As telas de cadastro e de consulta são autoexplicativas, guiando os usuários ao longo de passos ou subatividades, tornando o preenchimento dos dados uma tarefa simples e evitando a necessidade de um profundo conhecimento em sistemas de informações por parte dos usuários.

A Figura 5.16, apresenta um recorte da tela de cadastro de pessoas. Todas as informações mapeadas para o módulo Cadastro de Pessoas (seção 5.1.2.1) são apresentadas na tela de cadastro, em um formulário dinâmico para preenchimento pelo usuário, agrupado em passos menores e sequenciais. Após o preenchimento ou seleção das informações a serem criadas em cada passo, o usuário do sistema pode acionar o botão Limpar, para apagar os dados preenchidos no passo e recommençar um novo preenchimento, ou acionar o botão Validar, para realizar uma validação sobre o preenchimento das informações cadastradas. Caso seja identificado algum problema na validação dos dados, mensagens, em vermelho, são apresentadas na tela com a indicação da informação a ser revisada. Se nenhum problema for detectado, é apresentada uma mensagem, em verde, confirmando a validação com sucesso das informações. Na Figura 5.16, são apresentados exemplos de validação com sucesso e com erros, em dois passos distintos do cadastro de pessoas. O último passo da tela de cadastro (Figura 5.16) é o armazenamento das informações na base de dados, através do acionamento dos botões Criar e Atualizar. O botão Atualizar só é habilitado caso a entidade já esteja criada, senão deve ser utilizado o botão Criar. Ainda é disponibilizado o botão Cancelar, onde é possível desfazer as alterações nos dados e voltar à tela de entrada. As ações de leitura, inserção e atualização dos dados na base de dados, pela aplicação *web*, são realizadas através da execução de procedimentos criados na camada de banco de dados.

## CADASTRO DE PESSOAS

## Passo 01: Informar Documento Principal

- Informar número do documento.
- Informar data de emissão.

**Documento Principal**

Tipo do Documento: Cadastro de Pessoa Física	Tipo do Órgão Gestor: Organizações Governamentais
Órgão Gestor: Receita Federal do Brasil	Número do Documento: *
Data de Emissão (dd/mm/aaaa): *	

Limpar Validar

## Passo 02: Dados Básicos para Identificação

Informações validadas com sucesso.

**Dados Básicos**

Tipo da Pessoa: Pessoa Física	Nível da Pessoa: Usuário Titular
Nome da Pessoa: Marcelo Lambrusco Toledo	Data de Nascimento (dd/mm/aaaa): 15/04/1976

Limpar Validar

## Passo 06: Guardar Dados Informados

Cancelar Atualizar Criar

**Figura 5.16 – Tela com formulário para cadastro de pessoas (superior) e funcionalidades integradas ao banco de dados para criar, atualizar ou cancelar (inferior)**

Na tela de consulta, também dividida em passos, o usuário pode escolher um critério de busca, preencher as informações para consulta correspondentes ao critério selecionado e acionar o botão Consultar. No passo seguinte, é apresentado o resultado da busca na base de dados, com a lista de entidades encontradas que atendem às informações consultadas. É possível selecionar as linhas da lista retornada pela consulta, acionando o botão *Select*, para visualização de maiores detalhes da entidade selecionada. Ainda é permitido que o usuário acione o botão Atualizar, sendo redirecionado à tela de cadastro para visualização das informações completas do cadastro e atualização, caso julgue necessário.

A Figura 5.17 apresenta a tela de consulta de pessoas. As demais telas de cadastro e de consulta seguem o mesmo modelo já apresentado para as telas de pessoas. A diferença são as informações a serem preenchidas nos formulários, que fazem referência às informações específicas de cada entidade já mapeadas e modeladas na base de dados do sistema.

## CONSULTA DE PESSOAS

**Passo 01:** Informar Dados da Busca

Tipo de Consulta

- ☒ Documento Principal
 ☐ Dados Básicos
 ☐ Endereço Principal
 ☐ Dados Complementares

Documento Principal

Tipo do Documento:

Cadastro de Pessoa Física

Tipo do Órgão Gestor:

Organizações Governamentais

Órgão Gestor:

Receita Federal do Brasil

Número do Documento:

Data de Emissão (dd/mm/aaaa):

Limpar

Consultar

**Passo 02:** Visualizar/Selecionar Resultados da Busca

Pessoas Encontradas

	Tipo do Documento	Número do Documento	Nome da Pessoa	Data de Nascimento
Select	Cadastro de Pessoa Física	07464310221	Marcelo Toledo	15/04/1976
Select	Cadastro de Pessoa Física	6403022145	Roger Passos	07/03/1982
Select	<b>Cadastro de Pessoa Física</b>	<b>10345655412</b>	<b>Alcione Ottoni</b>	<b>07/07/1967</b>
Select	Cadastro de Pessoa Física	09050967534	Marconi Silva	09/12/1970
Select	Cadastro de Pessoa Física	06221222753	Joel Mariano	22/11/1971

**Passo 03:** Visualizar/Atualizar Resultados da Seleção

Informações Detalhadas da Pessoa

<b>Tipo do Documento</b>	Cadastro de Pessoa Física
<b>Número do Documento</b>	10345655412
<b>Data de Emissão</b>	08/08/1986
<b>Nome da Pessoa</b>	Alcione Ottoni
<b>Data de Nascimento</b>	07/07/1967
<b>Tipo da Pessoa</b>	Pessoa Física
<b>Nível da Pessoa</b>	Usuário Titular
<b>Escolaridade</b>	Ensino Médio Completo
<b>Valor da Renda Anual Máxima (US\$)</b>	24000
<b>Valor Patrimonial Máximo (US\$)</b>	175000
<b>Estado</b>	Espírito Santo
<b>Cidade</b>	Itarana
<b>Bairro</b>	Riacho Doce
<b>Endereço</b>	Rua das Flores, nº 11
<b>Complemento</b>	Casa 2
<b>CEP</b>	32051000

Atualizar

Figura 5.17 – Tela com formulário para consulta de pessoas na base de dados

### 5.3.3.3 Módulo de Operação

Conforme apresentado anteriormente na Tabela 5.11, o módulo Operação foi dividido em dois *menus*: (1) monitoramento, incluindo as telas de cadastro e consulta

do monitoramento de fluviômetros, irrigâmetros, reservatórios e meteorologia ou dados de previsão de precipitação; e (2) operação, tela para consulta pelo produtor rural do planejamento de operação das intervenções sob sua gestão e cadastro dos horários de início e fim das captações efetivamente realizadas. O acesso às telas do módulo de operação é restrito aos usuários associados aos seguintes perfis: (1) fluviômetro, telas de monitoramento de fluviômetros; (2) irrigâmetro, telas de monitoramento de irrigâmetros; (3) reservatório, telas de monitoramento de reservatórios; (4) meteorologia, telas de monitoramento de previsões de precipitação; e (5) operação, telas com planejamento e cadastro da operação das intervenções pelos produtores.

A Figura 5.18, apresenta um recorte da tela de cadastro de monitoramento de irrigâmetros. Inicialmente, é solicitado que o usuário realize uma busca pelo irrigâmetro a ser acompanhado, seguindo os mesmos passos de consulta e seleção já utilizados nas telas do módulo Consulta. Posteriormente, deve ser informada a data, horário de monitoramento e demais informações coletadas durante a observação do irrigâmetro, como as medidas do nível de água no tubo de alimentação e no pluviômetro.

A imagem mostra uma interface web com o título "Dados de Monitoramento". No canto superior esquerdo, há uma barra lateral com o texto "Passo 03: Informar Dados de Monitoramento". O formulário principal contém os seguintes campos de entrada:

- "Data de Monitoramento (dd/mm/aaaa):" com um campo de texto.
- "Horário de Monitoramento (hh24:mi):" com um campo de texto.
- "Nível de Água do Tubo de Alimentação (mm):" com um campo de texto.
- "Nível de Água do Pluviômetro (mm):" com um campo de texto.
- "Nível de Água para Reposição (mm):" com um campo de texto.

Na parte inferior direita do formulário, há dois botões: "Limpar" e "Validar". Abaixo do formulário, há uma barra com o texto "Passo 04: Guardar Dados Informados" e três botões: "Cancelar", "Atualizar" e "Criar".

**Figura 5.18 – Tela com formulário para cadastro de monitoramento de irrigâmetros**

Um recorte da tela de consulta do monitoramento de irrigâmetros é apresentado na Figura 5.19. Após o usuário selecionar o aparelho a ser consultado e informar o período de monitoramento, são apresentadas as medidas do nível de água no tubo de alimentação e no pluviômetro para cada dia monitorado. Ao selecionar um dia de acompanhamento, são apresentadas informações detalhadas sobre o irrigâmetro, como descrição, empreendimento de instalação, operador responsável, nível de

água no evaporatório, etc. Ainda é permitido que o usuário acione o botão Atualizar, sendo redirecionado à tela de cadastro para revisão dos dados do monitoramento.

**Passo 03:** Informar Período de Monitoramento

Dados de Monitoramento
 

Data de Início de Monitoramento (dd/mm/aaaa):

Data de Fim de Monitoramento (dd/mm/aaaa):

**Passo 04:** Visualizar/Selecionar Resultados da Busca

Monitoramentos Encontrados
 

	Número	Data	Horário	Tubo de Alimentação (mm)	Pluviômetro (mm)
<input type="button" value="Select"/>	IRRIGAMETRO_03	10/10/2014	10:00	14.9	0
<input type="button" value="Select"/>	IRRIGAMETRO_03	11/10/2014	10:15	4.1	5.3
<input type="button" value="Select"/>	IRRIGAMETRO_03	12/10/2014	9:30	9.1	9.7
<input type="button" value="Select"/>	IRRIGAMETRO_03	13/10/2014	9:55	0.1	0
<input type="button" value="Select"/>	IRRIGAMETRO_03	14/10/2014	10:00	4.5	0

**Passo 05:** Visualizar/Atualizar Resultados da Seleção

Informações Detalhadas do Monitoramento
 

Número do Irrigâmetro	IRRIGAMETRO_03
Descrição do Irrigâmetro	Irrigâmetro para manejo da banana.
Nível de Água no Evaporatório (cm)	3.5
Data de Instalação	01/01/2001
Empreendimento de Instalação	Sítio João de Barro
Operador Responsável	Marcelo Toledo
Data de Monitoramento	12/10/2014
Horário de Monitoramento	09:30
Nível de Água do Tubo de Alimentação (mm)	9.1
Nível de Água do Pluviômetro (mm)	9.7
Nível de Água para Reposição (mm)	9.7

**Figura 5.19 – Tela de busca e visualização detalhada de monitoramentos de irrigâmetros**

As demais telas de cadastro e de consulta do *menu* Monitoramento seguem o mesmo modelo já apresentado para as telas de acompanhamento de irrigâmetros. A diferença são as informações a serem preenchidas nos formulários, que fazem referência às informações de monitoramento específicas de cada entidade já mapeadas e modeladas na base de dados do sistema. Após todos os dados de monitoramento serem informados para o dia, o sistema está apto a executar a rotina de otimização para planejamento da alocação de água. A rotina pode ser configurada para execução automática, assim que os dados de monitoramento são informados, ou programada para execução em um horário específico, previamente acordado com os usuários.

A Figura 5.20 é um recorte da tela de operação, onde o produtor rural pode consultar o planejamento de operação, resultado da execução da rotina de otimização, e cadastrar a operação efetivamente realizada, diariamente. O usuário deve realizar uma busca na base de dados para seleção da intervenção hídrica desejada e informar dia e horários de início e fim para a consulta dos planejamentos. O sistema apresenta o cronograma planejado para a intervenção hídrica por intervalo horário, indicando a origem e o destino da água captada, a vazão do sistema de captação e se a intervenção deverá ou não ser ativada no intervalo horário. O mesmo procedimento deve ser realizado para visualização e cadastramento da operação realizada para a intervenção hídrica. Na mesma tela, após o produtor rural informar dia e horários de início e fim para cadastrar a operação, é apresentada uma tabela com as informações da intervenção por intervalo horário, onde é permitida a edição (botão *Edit*) para indicação ou não de realização da operação.

**Passo 03: Visualizar**  
Programação de Operação da Intervenção

Programação da Intervenção

Data de Programação (dd/mm/aaaa):  
10/10/2014

Horário de Início (hh24:mi):  
18:00

Horário de Fim (hh24:mi):  
21:00

Faixa Horária:  
Hora

Número	Tipo	Origem	Destino	Horário	Vazão (l/h)	Ativação
INTERVENÇÃO_02	CRC	RESERVATÓRIO_01	CULTURA_02	18:00 - 19:00	5346	<input type="checkbox"/>
INTERVENÇÃO_02	CRC	RESERVATÓRIO_01	CULTURA_02	19:00 - 20:00	5346	<input checked="" type="checkbox"/>
INTERVENÇÃO_02	CRC	RESERVATÓRIO_01	CULTURA_02	20:00 - 21:00	5346	<input checked="" type="checkbox"/>

Limpar Validar

**Passo 04: Visualizar/Informar**  
Dados Reais de Operação da Intervenção

Operação da Intervenção

Data de Operação (dd/mm/aaaa):  
10/10/2014

Horário de Início (hh24:mi):  
18:00

Horário de Fim (hh24:mi):  
21:00

Faixa Horária:  
Hora

Número	Tipo	Origem	Destino	Horário	Vazão (l/h)	Ativação
<input type="button" value="Edit"/>	INTERVENÇÃO_02	CRC	RESERVATÓRIO_01	CULTURA_02	18:00 - 19:00	5346 <input checked="" type="checkbox"/>
<input type="button" value="Edit"/>	INTERVENÇÃO_02	CRC	RESERVATÓRIO_01	CULTURA_02	19:00 - 20:00	5346 <input checked="" type="checkbox"/>
<input type="button" value="Update"/> <input type="button" value="Cancel"/>	INTERVENÇÃO_02	CRC	RESERVATÓRIO_01	CULTURA_02	20:00 - 21:00	5346 <input checked="" type="checkbox"/>

Limpar Validar

**Passo 05: Guardar Dados**  
Informados

**Figura 5.20 – Tela para consulta do planejamento de operação e registro da operação praticada**

Considerando um cenário totalmente automatizado, o sistema poderia receber os dados de monitoramento automaticamente, via telemetria, dispensando o cadastro manual pelas telas da aplicação *web*. Ainda em um cenário automatizado, o próprio sistema poderia acionar os sistemas de captação e irrigação automaticamente, sem intervenções dos produtores rurais. As telas desenvolvidas seriam utilizadas apenas para consultas e acompanhamento, eliminando a necessidade dos cadastros.

#### 5.3.3.4 Módulo de Simulação

O módulo Simulação disponibiliza duas telas acessíveis a todos os usuários do sistema: (1) tela de cadastro, utilizada na criação e atualização dos parâmetros da simulação para posterior execução das rotinas de otimização; e (2) tela de consulta, utilizada na realização de buscas por simulações já cadastradas para visualização dos resultados ou alterações e novos testes. As telas de cadastro e de consulta do módulo de simulação seguem o mesmo padrão já utilizado nas telas apresentadas em módulos anteriores, guiando a navegação do usuário, através de passos, para preenchimento de formulários dinâmicos.

A tela de cadastro consolida, em um único formulário, todas as informações relevantes para a execução das rotinas de otimização, simplificando a execução de testes para cenários variados. As informações inseridas ao longo do formulário são utilizadas para carregar as estruturas de dados do modelo de simulação na base de dados relacional. A seguir veremos os passos apresentados aos usuários.

- **Passo 01 - Informar Dados Básicos para Identificação:** cadastro de número de identificação, descrição e observações sobre a simulação.
- **Passo 02 - Informar Dados de Abrangência Regional:** associação da simulação a uma região geográfica (cidade e estado) e a uma região hidrográfica (microbacia e sub-bacia de microbacia hidrográfica).
- **Passo 03 - Informar Dados da Busca pelo Analista Responsável:** busca do analista responsável pela simulação, que pode ser o próprio usuário de criação da simulação.

- **Passo 04 - Visualizar/Selecionar Resultados da Busca pelo Analista Responsável:** seleção do analista responsável que estará vinculado à simulação.
- **Passo 05 - Informar Fluviômetros:** identificação dos arcos da hidrografia que serão monitorados por fluviômetros.
- **Passo 06 - Informar Vazão Monitorada e Vazão Residual:** definição da vazão residual para os arcos da hidrografia monitorados. Também devem ser informadas as vazões de monitoramento dos fluviômetros.
- **Passo 07 - Informar Agenda de Utilização da Outorga:** definição das restrições horárias relacionadas à outorga coletiva.
- **Passo 08 - Informar Irrigômetros:** identificação dos irrigômetros que serão utilizados na simulação com as respectivas medidas do nível de água no evaporatório, tubo de alimentação e pluviômetro.
- **Passo 09 - Informar Atividades:** identificação das culturas irrigadas da simulação, informando tipo de cultura, fase de desenvolvimento, irrigômetro associado, disponibilidade total de água no solo e intensidade líquida de aplicação de água pelo sistema de irrigação para identificação da régua de manejo e régua temporal.
- **Passo 10 - Informar Agenda de Utilização das Atividades:** definição das restrições horárias da cultura para as atividades de irrigação.
- **Passo 11 - Informar Reservatórios:** identificação dos reservatórios da simulação, informando os volumes mínimo, máximo e atual.
- **Passo 12 - Informar Intervenções:** identificação das intervenções hídricas, informando as origens (arcos de hidrografia ou reservatórios), destinos (culturas ou reservatórios) e vazões de captação.
- **Passo 13 - Informar Agenda de Utilização das Intervenções:** definição das restrições horárias de operação das intervenções.
- **Passo 14 - Informar Dados Meteorológicos:** indicação da estimativa de precipitação e probabilidade de incidência de chuvas a ser considerada.
- **Passo 15 - Guardar Dados Informados:** gravação dos dados da simulação inseridos nos passos anteriores na base de dados e execução da rotina de otimização para geração dos relatórios apresentados nos passos seguintes.



- **Passo 16 - Visualizar Relatório de Acompanhamento de Fluviômetros:** visualização de vazão medida, vazão outorgável e soma das vazões de captação para as intervenções hídricas ativadas no arco e em arcos a montante, por arco de hidrografia monitorado e intervalo horário.
- **Passo 17 - Visualizar Relatório de Acompanhamento de Atividades:** visualização do planejamento de irrigação, por cultura e intervalo horário, incluindo a origem da água captada, a vazão do sistema de irrigação, e as medidas do tubo de alimentação do irrigâmetro, antes e depois da irrigação.
- **Passo 18 - Visualizar Relatório de Acompanhamento de Reservatórios:** visualização de volume inicial, volume adicionado e subtraído pelas captações ativadas, e volume final, por reservatório e intervalo horário.
- **Passo 19 - Visualizar Relatório de Acompanhamento de Intervenções:** visualização do planejamento de operação das intervenções hídricas, por intervalo horário e intervenção hídrica. Dentre as informações apresentadas estão a origem, o destino e a vazão do sistema de captação.

Os quatro últimos passos da tela de cadastro são gerados automaticamente após o cadastro ou atualização da simulação. Estes relatórios apresentam o mesmo conteúdo desenvolvido para o módulo Relatórios, que será visto adiante, porém têm como origem os dados registrados no próprio formulário de simulação e os resultados da execução da rotina de otimização.

Na tela de consulta, o usuário pode realizar buscas através dos dados básicos de identificação da simulação, dados de abrangência regional ou dados do analista responsável. Após a busca e seleção, é permitido que o usuário acione o botão Atualizar, sendo redirecionado à tela de cadastro para visualização dos relatórios gerados ou edição dos dados para nova execução da rotina de otimização.

#### 5.3.3.5 Módulo de Relatórios

O módulo Relatórios disponibiliza cinco telas sob o *menu* Relatórios, conforme listado anteriormente na Tabela 5.11, com o objetivo de apresentar dados históricos, consultados na base de dados, para acompanhamento do planejamento e operação

dos sistemas de irrigação, sistemas de captação, níveis de reservatórios e vazões nos cursos d'água. Todos os usuários têm permissão para acessar o módulo.

A Figura 5.21 apresenta um recorte da tela disponibilizada para o relatório Grade de Operação, com o planejamento, de acordo com o SAD, dos horários para operação do sistema de irrigação de determinada cultura.

**Passo 03: Informar Período de Acompanhamento**

**Período de Acompanhamento**

Data de Início de Acompanhamento (dd/mm/aaaa):  
12/10/2014

Data de Fim de Acompanhamento (dd/mm/aaaa):  
12/10/2014

Limp
Validar

**Passo 04: Visualizar/Selecionar Grade de Operação da Atividade**

**Grade de Operação da Atividade**

	Origem	Destino	Data	Horário	Vazão (l/h)	Tubo Início (mm)	Tubo Fim (mm)
Select	ARCO_01	CULTURA_02	12/10/2014	18:00 - 19:00	5346	10.8	12.6
Select	RESERVATÓRIO_01	CULTURA_02	12/10/2014	19:00 - 20:00	5346	12.6	8.4
Select	RESERVATÓRIO_01	CULTURA_02	12/10/2014	20:00 - 21:00	5346	8.4	4.2

**Passo 05: Visualizar Resultados da Seleção**

**Informações Detalhadas da Operação**

Número da Intervenção  
Origem  
Destino  
Data de Instalação  
Empreendimento de Instalação  
Operador Responsável  
Data de Monitoramento  
Horário de Monitoramento  
Vazão de Operação (l/h)  
Número do Irrigâmetro  
Medida do Tubo de Alimentação Inicial (mm)  
Medida do Tubo de Alimentação Final (mm)

INTERVENÇÃO\_02  
RESERVATÓRIO\_01  
CULTURA\_02  
01/01/2001  
Sítio João de Barro  
Marcelo Toledo  
12/10/2014  
20:00 - 21:00  
5346  
IRRIGAMETRO\_03  
8.4  
4.2

**Figura 5.21 – Tela de visualização do relatório com o planejamento de irrigação de culturas**

Inicialmente, o relatório (Figura 5.21) solicita que o usuário faça uma busca pela atividade de irrigação ou cultura desejada, seguindo os mesmos passos de consulta e seleção já utilizados nas telas do módulo Consulta. Posteriormente, deve ser informado o período para acompanhamento da cultura e, finalmente, é apresentado o planejamento de irrigação, por intervalo horário, para cada dia do período selecionado. Dentre as principais informações apresentadas no relatório está a origem da água captada com a identificação do arco da hidrografia ou reservatório utilizado, a vazão do sistema de irrigação, e as medidas do tubo de alimentação do

irrigâmetro com a respectiva cor da régua de manejo, antes e depois da irrigação, caso esta seja efetivada. Ainda é possível selecionar as linhas do relatório, pelo botão *Select*, e visualizar maiores detalhes do planejamento, como intervenção hídrica, empreendimento e irrigâmetro utilizados.

O relatório Atividades é muito semelhante ao relatório Grade de Operação (Figura 5.21), porém apresenta o histórico da operação realizada pelo sistema de irrigação de determinada cultura, ao invés do planejamento proposto pelo SAD. Assim, é possível comparar o planejamento com a operação realizada e verificar a aderência dos sistemas de irrigação ao cronograma gerado pela rotina de otimização.

Um recorte da tela disponibilizada para o relatório Intervenções é apresentada na Figura 5.22, com o histórico de operação do sistema de captação para determinada intervenção hídrica. De forma semelhante aos demais relatórios, o usuário deve realizar uma busca na base de dados para seleção da intervenção hídrica desejada e informar o período de acompanhamento.

**Passo 04: Visualizar/Selecionar**  
Resultados da Busca

Relatório de Acompanhamento de Intervenções

	Número	Tipo	Origem	Destino	Data	Horário	Vazão (l/h)
Select	INTERVENÇÃO_03	CAR	ARCO_01	RESERVATÓRIO_01	12/10/2014	18:00 - 19:00	5346
Select	INTERVENÇÃO_03	CAR	ARCO_01	RESERVATÓRIO_01	12/10/2014	19:00 - 20:00	5346
Select	INTERVENÇÃO_03	CAR	ARCO_01	RESERVATÓRIO_01	12/10/2014	20:00 - 21:00	5346

**Passo 05: Visualizar Resultados da Seleção**

Informações Detalhadas do Acompanhamento

Número da Intervenção	INTERVENÇÃO_03
Tipo da Intervenção	CAR
Descrição da Intervenção	Captação Arco Reservatório João de Barro
Origem	ARCO_01
Destino	RESERVATÓRIO_01
Data de Instalação	01/01/2001
Empreendimento de Instalação	Sítio João de Barro
Operador Responsável	Marcelo Toledo
Data de Monitoramento	12/10/2014
Horário de Monitoramento	20:00 - 21:00
Vazão de Operação (l/h)	5346

**Figura 5.22 – Tela de visualização do relatório de acompanhamento de intervenções**

O relatório (Figura 5.22) apresenta a operação da intervenção, por intervalo horário, para cada dia do período selecionado. Dentre as principais informações estão a origem e o destino da água captada, o tipo de captação e a vazão do sistema de

captação. Ao selecionar cada linha do relatório, é possível visualizar outros detalhes da operação da intervenção hídrica, como descrição da intervenção, empreendimento e data de instalação.

Para visualização do histórico de medições coletadas para determinado fluviômetro, deve ser utilizado o relatório Fluviômetros (Figura 5.23). Após selecionar o fluviômetro a ser consultado e informar o período de monitoramento, o usuário consegue visualizar, para cada dia, a vazão medida e a vazão outorgável calculada ao descontar a vazão residual exigida pelo órgão gestor no arco da hidrografia em que o fluviômetro está instalado. O relatório também informa, por intervalo horário, a soma das vazões de captação para as intervenções hídricas ativadas no arco e em arcos a montante, sendo possível verificar o atendimento às exigências de outorga e monitorar as captações a cada intervalo horário da operação. Ao selecionar cada linha do relatório, é possível visualizar maiores detalhes sobre o fluviômetro e arco da hidrografia de instalação, como o empreendimento de instalação, operador responsável e vazão residual exigida pelo órgão gestor.

Passo 04: Visualizar/Selecionar

Resultados da Busca

Relatório de Acompanhamento de Fluviômetros

	Número	Arco	Data	Horário	Medição (l/h)	Outorgável (l/h)	Captada (l/h)
Select	FLUVIOMETRO_05	ARCO_05	12/10/2014	18:00 - 19:00	13566	10066	0
Select	FLUVIOMETRO_05	ARCO_05	12/10/2014	19:00 - 20:00	13566	10066	7850
Select	FLUVIOMETRO_05	ARCO_05	12/10/2014	20:00 - 21:00	13566	10066	10050

Passo 05: Visualizar Resultados da Seleção

Informações Detalhadas do Acompanhamento

Número do Fluviômetro	FLUVIOMETRO_05
Descrição do Fluviômetro	Fluviômetro do Arco 05
Data de Instalação	01/01/2001
Arco de Instalação	ARCO_05
Empreendimento de Instalação	Sítio João de Barro
Operador Responsável	Marcelo Toledo
Data de Monitoramento	12/10/2014
Horário de Monitoramento	20:00 - 21:00
Vazão de Medição (l/h)	13566
Vazão Residual (l/h)	3500
Vazão Outorgável (l/h)	10066
Vazão Captada (l/h)	10050

**Figura 5.23 – Tela de visualização do relatório de acompanhamento de fluviômetros**

Também foi disponibilizado o relatório Reservatórios, permitindo a visualização do histórico de medições coletadas para determinado reservatório (Figura 5.24). Após o usuário selecionar o reservatório a ser consultado e informar o período de

monitoramento, é apresentado o volume de medição ou volume inicial de operação do reservatório, para cada dia do período. O relatório também informa, por intervalo horário, o volume adicionado e o volume subtraído do reservatório pelas intervenções hídricas ativadas, sendo possível acompanhar a utilização dos recursos armazenados ao longo da operação diária. Ao selecionar uma linha do relatório, são apresentadas informações detalhadas sobre o reservatório, como número, descrição, responsável, empreendimento e data de instalação.

**Passo 04: Visualizar/Selecionar**  
Resultados da Busca

Relatório de Acompanhamento de Reservatórios

	Número	Data	Horário	Inicial (l)	Adicionado (l)	Subtraído (l)	Final (l)
Select	RESERVATORIO_04	12/10/2014	18:00 - 19:00	100000	0	10066	89934
Select	RESERVATORIO_04	12/10/2014	19:00 - 20:00	89934	5346	5346	89934
Select	RESERVATORIO_04	12/10/2014	20:00 - 21:00	89934	5346	0	95280

**Passo 05: Visualizar Resultados da Seleção**

Informações Detalhadas do Acompanhamento

Número do Reservatório	RESERVATORIO_04
Descrição do Reservatório	Reservatório João de Barro
Data de Instalação	01/01/2001
Empreendimento de Instalação	Sítio João de Barro
Operador Responsável	Marcelo Toledo
Data de Monitoramento	12/10/2014
Horário de Monitoramento	20:00 - 21:00
Volume Inicial (l)	89934
Volume Adicionado (l)	5346
Volume Extraído (l)	0
Volume Final (l)	95280

Figura 5.24 – Tela de visualização do relatório de acompanhamento de reservatórios

## 5.4 AVALIAÇÃO DO SAD

Conforme metodologia apresentada na seção 4.4, a avaliação do sistema de apoio à decisão foi dividida em duas etapas. A primeira etapa consistiu na execução de testes com a rotina de otimização, visando, principalmente, comprovar a entrega da funcionalidade de distribuição dos recursos hídricos outorgáveis ao longo do tempo e do espaço em uma microbacia hidrográfica, atendendo prioritariamente às culturas com maior criticidade pelo uso da água. Também foram avaliadas questões como desempenho e potencial de aplicação frente a variados cenários, utilizando uma microbacia hipotética. A segunda etapa foi responsável pela validação das telas e

funcionalidades disponibilizadas na aplicação *web*. Todas as telas foram testadas, simulando um fluxo de operação completo para ativação de um processo de outorga coletiva no sistema. Questões como aplicabilidade, segurança da informação e controle de acesso, acessibilidade, navegabilidade, facilidade de uso e desempenho das funcionalidades de cadastro, consultas, execução das rotinas de otimização e interações com as informações da base de dados foram avaliadas pelo autor.

#### **5.4.1 Avaliação do Processo de Alocação de Água**

O Microsoft® Solver Foundation, ferramenta utilizada no desenvolvimento das rotinas de otimização, também apoiou a avaliação dos cenários de testes propostos. A microbacia hipotética especificada na seção 4.4.1 e apresentada na Figura 4.14, formada por cinco arcos de hidrografia, cinco reservatórios impermeáveis, dez culturas irrigadas e dezenove intervenções hídricas (Tabela 4.2), foi cadastrada em planilha eletrônica com todos os dados de entrada necessários para a execução da rotina de otimização. Utilizando a própria ferramenta de desenvolvimento, as informações de testes foram vinculadas ao modelo matemático para execução das simulações e avaliação dos resultados.

Conforme recomendação dos especialistas em manejo de irrigação, o intervalo temporal adotado para as simulações foi de uma hora, assim, o planejamento diário das alocações de água será realizado com um controle por horas, do tempo em que os sistemas de captação e irrigação deverão permanecer em operação. O período diário total para planejamento da operação foi definido em doze estágios, sem a definição de restrições horárias para outorga, culturas ou intervenções hídricas. Desta forma, doze horas do dia planejado estarão disponíveis para operação de quaisquer intervenções configuradas na microbacia. Para simplificar e facilitar a avaliação dos resultados, a unidade temporal utilizada foi a hora (h), a unidade de vazão foi o litro por hora (l/h) e a unidade de volume foi o litro (l).

Para as simulações, foram utilizados os dados de operação de irrigômetros coletados nas cinco propriedades da bacia hidrográfica do Córrego Sossego (APÊNDICE A, B, C, D e E), sendo considerados os dois dias mais críticos, em

termos de demanda hídrica, para cada uma das culturas monitoradas no período de setembro a dezembro de 2012. Estas informações de demandas foram utilizadas nas simulações para um mesmo dia, representando um caso extremo de necessidade hídrica para a microbacia hipotética. Cada uma das cinco propriedades foi utilizada para representar duas culturas da microbacia hipotética, da seguinte maneira: (1) propriedade A, culturas 1 e 6; (2) propriedade B, culturas 2 e 7; (3) propriedade C, culturas 3 e 8; (4) propriedade D, culturas 4 e 9; e (5) propriedade E, culturas 5 e 10.

A Tabela 5.12 apresenta as informações relacionadas a cada uma das dez culturas da microbacia hipotética que foram utilizadas nas simulações. Os tempos de irrigação necessários para suprir as necessidades hídricas de cada cultura, de acordo com a régua temporal do irrigâmetro, foram calculados em horas, unidade temporal adotada para os testes, representando a quantidade de intervalos horários necessários de irrigação. As cores das régua de manejo para a medida no tubo de alimentação também é apresentada na tabela. Os valores de prioridades atribuídos às culturas foram calculados desconsiderando os dados de precipitação e de previsão de precipitação.

**Tabela 5.12 – Informações relacionadas às culturas utilizadas nos cenários de simulação**

Cultura	Vazão do Sistema de Irrigação (l/h)	Modelo da Régua Temporal	Medida do Tubo de Alimentação (mm)	Horas a Irrigar	Prioridade
1	12554	4.2	16.8	4	1900
2	11468	3	18.0	6	1730
3	28072	10	20.0	2	2329
4	6755	4	16.0	4	361
5	5892	1.9	17.1	9	2703
6	12554	4.2	16.8	4	1900
7	11468	3	18.0	6	1730
8	28072	10	20.0	2	2329
9	6755	4	20.0	5	882
10	5892	1.9	17.1	9	2703

A quantidade de horas a irrigar e os valores de prioridades, de cada cultura, diminui à medida que a operação de irrigação é planejada pela rotina de otimização, ao longo dos intervalos temporais disponíveis. A relação entre a quantidade de intervalos temporais a irrigar e o valor de prioridade, para cada cultura, é



previamente estabelecida pelo sistema, evitando que o cálculo seja realizado em tempo de execução da rotina.

As intervenções hídricas utilizadas nas simulações foram cadastradas conforme os dados apresentados na Tabela 4.2, da seção 4.4.1, informando as origens (arcos de hidrografia ou reservatórios) e destinos (reservatórios ou culturas) de acordo com cada um dos três tipos de captação possíveis. As vazões das captações com destino para sistemas de irrigação de culturas foram definidas como sendo as próprias vazões dos sistemas de irrigação das culturas atendidas. Nas interferências com destino para reservatórios, a vazão de captação utilizada foi a menor vazão dos sistemas de irrigação atendidos pelo reservatório. Esta estratégia foi adotada com a intenção de minimizar os impactos sobre o curso d'água nas captações com finalidade de reservação hídrica.

A Tabela 5.13 apresenta as informações relacionadas aos arcos de hidrografia utilizados nos cenários de simulação. A informação de arco a jusante é necessária para que o sistema represente a rede de drenagem da microbacia. Assim, a rotina de otimização consegue gerenciar a disponibilidade dos recursos hídricos ao longo de toda a malha hidrográfica, computando os impactos gerados por captações a montante e a jusante do arco de interferência.

**Tabela 5.13 – Informações relacionadas à rede de drenagem utilizadas nos cenários de simulação**

Arco	Arco a Jusante	Vazão Fluviômetro (l/h)	Vazão Residual (l/h)	Vazão Outorgável (l/h)
1	3	12554	0	12554
2	3	28072	0	28072
3	5	40626	0	40626
4	5	11468	0	11468
5	-	52094	0	52094

A vazão residual para cada arco foi anulada para as simulações. Ou seja, a princípio, toda a vazão medida nos fluviômetros, para cada arco, estaria disponível para outorga (vazão outorgável). As vazões reais, medidas nos fluviômetros, representando a vazão instantânea nos arcos, foram definidas de acordo com os seguintes critérios: (1) arcos 1, 2 e 4, representando as nascentes da microbacia, utilizaram a maior vazão de captação com origem em cada arco; e (2) arcos 3 e 5, utilizaram a soma das vazões reais dos respectivos arcos a montante. A adoção



destas definições para as vazões teve como objetivo garantir que os arcos da hidrografia disponibilizassem o mínimo de vazão necessária para atendimento a, ao menos, uma interferência hídrica por vez.

Como simplificação, os volumes mínimos necessários para operação dos reservatórios foram definidos como zero, ou seja, toda a água presente nos reservatórios estará disponível para uso, sugerindo um aproveitamento total da água dos reservatórios. As demais informações associadas aos reservatórios variaram de acordo com cada cenário e serão explicadas a seguir, com a posterior avaliação dos resultados obtidos com as simulações. Nos testes, o sistema de apoio à decisão deve gerenciar as demandas de todas as culturas e coordenar a operação dos reservatórios e intervenções hídricas visando o melhor aproveitamento da água disponível na microbacia para o dia de simulação, atendendo às demandas segundo as prioridades previamente definidas.

#### 5.4.1.1 Cenário 1 – Reservatórios Vazios

Neste cenário, os volumes iniciais disponíveis em cada reservatório foram zerados e os volumes máximos de operação foram definidos como o volume equivalente a apenas uma hora de abastecimento dos reservatórios pela vazão de captação associada. O objetivo é impedir que os reservatórios sejam utilizados para armazenamento do excedente hídrico. Os reservatórios, quando abastecidos, passam a ser utilizados apenas como passo intermediário para atendimento das demandas de culturas cujos sistemas de irrigação não estão diretamente conectados aos cursos d'água. Desta forma, os cursos d'água tornam-se as principais fontes de água da simulação.

No APÊNDICE W, são apresentados alguns resultados da simulação. O gráfico intitulado “Prioridade e Horas a Irrigar das Culturas por Intervalo Horário” apresenta a evolução da quantidade de horas a irrigar para cada cultura ao longo dos doze intervalos temporais de operação. As cores das barras representam as cores da régua de manejo dos irrigâmetros associadas às prioridades das demandas hídricas. Os outros dois gráficos apresentam, respectivamente, os volumes finais dos

reservatórios e a soma das vazões de captação nos arcos da hidrografia, a cada intervalo temporal do problema de otimização.

Analisando a evolução de demandas hídricas para as culturas do cenário, notamos que após as primeiras seis horas de planejamento, todas as culturas já se encontravam com demandas hídricas de baixa criticidade, classificadas nas cores verde ou azul da régua de manejo do irrigâmetro. Ou seja, foi necessária apenas a metade do tempo total previsto de operação para garantir o atendimento a todas as culturas da região. Em doze horas de operação, todas as culturas já se encontravam na situação de capacidade de campo, onde a irrigação já não deve mais ser praticada.

Observando os resultados de utilização dos reservatórios, é possível verificar que nenhum reservatório foi abastecido além da restrição imposta pelo cenário. Portanto, ao longo dos intervalos horários do planejamento, os volumes foram mantidos entre zero e o equivalente à uma hora de abastecimento, sendo utilizados apenas para provimento de água às culturas diretamente conectadas a eles. No final das doze horas de planejamento, todos os reservatórios foram entregues abastecidos.

Neste cenário, com a eliminação da disponibilidade de água dos reservatórios, é possível verificar como o sistema realiza a gestão das captações ao longo da rede hidrográfica, gerenciando a disponibilidade hídrica e os conflitos entre montante e jusante. Por exemplo, as vazões definidas para os arcos 1, 2 e 4, nas simulações, impossibilitou a ativação de mais de uma captação para cada arco, por intervalo temporal, pois ultrapassaria a vazão disponível. Podemos observar nos resultados apresentados pelo gráfico intitulado "Vazão Captada nos Arcos da Hidrografia por Intervalo Horário" que esta restrição foi respeitada. Para atendimento às culturas 1 e 2, no arco 1, foram alternadas as captações com destinos para a cultura 1 e para o reservatório 1 com finalidade de atendimento à cultura 2. Um exemplo da gestão de conflitos entre montante e jusante, aconteceu no intervalo temporal 2, quando nenhuma captação foi ativada nos arcos 2 e 4, aumentando assim a quantidade de água disponível no arco 5 e permitindo a ativação de mais de uma captação neste arco. Condição semelhante, aconteceu no intervalo temporal 3, quando nenhuma captação foi ativada no arco 1 com o objetivo de disponibilizar maior vazão aos arcos a jusante. A situação aconteceu em vários outros intervalos temporais do

planejamento, sempre com a intenção de garantir maior disponibilidade hídrica nos arcos da rede hidrográfica com demandas prioritárias. Outro exemplo ocorreu no intervalo temporal 7, quando não foram realizadas captações no arco 3, permitindo a ativação de captações nos arcos 1 e 2, a montante.

A visão centralizada de disponibilidade e demandas da microbacia é que permite ao sistema otimizar a utilização dos recursos hídricos ao longo do tempo e do espaço, em toda a região. A concorrência pela água em determinados horários é evitada e o uso da água a montante e a jusante é gerenciado, evitando pontos de escassez em regiões específicas ao longo da malha hídrica e atendendo a todas as demandas da microbacia.

Como as demandas hídricas críticas foram todas atendidas em seis horas, seria viável considerar uma maior restrição da vazão outorgável para a microbacia, definindo, por exemplo, uma vazão residual para a foz da microbacia (arco 5). Esta vazão residual poderia ser simulada, visando o atendimento das demandas críticas do cenário no período de doze horas. A aplicação também tem o potencial de verificar, por exemplo, os impactos da inclusão de novas culturas na microbacia, da alteração das vazões reais nos arcos da hidrografia (simulando períodos de escassez ou cheias), da alteração das vazões de operação das interferências hídricas cadastradas e do aumento ou diminuição do período disponível para operação. Todos estes fatores podem ser analisados, em simulações, em conjunto com a comunidade, visando um planejamento de longo prazo para a microbacia.

#### 5.4.1.2 Cenário 2 – Reservatórios Cheios

No cenário 2, os volumes máximos de operação dos reservatórios foram definidos como o volume equivalente a um dia ou vinte e quatro horas de abastecimento pela vazão de captação associada. A simulação foi realizada considerando a situação de reservatórios totalmente carregados, ou seja, os volumes iniciais foram iguais ao volume máximo de operação. O objetivo é tornar os reservatórios as principais fontes de água para as culturas. A utilização dos cursos d'água como origem dos recursos hídricos deverá ocorrer apenas para suprimento das demandas de culturas

cujos sistemas de irrigação estão diretamente conectados aos arcos da hidrografia. Os resultados da simulação, com o mesmo nível de detalhes do cenário anterior, são apresentados no APÊNDICE X.

Diferentemente do cenário 1, todas as culturas já se encontravam com demandas hídricas de baixa criticidade, classificadas nas cores verde ou azul da régua de manejo do irrigâmetro, após as primeiras cinco horas de planejamento. Isto se deve, basicamente, à utilização da água já disponível nos reservatórios, evitando a necessidade de novas captações para reservação hídrica e posterior atendimento das culturas. Em doze horas de operação, todas as culturas já se encontravam na situação de capacidade de campo, onde a irrigação já não deve mais ser praticada.

Analisando o gráfico de acompanhamento do volume final dos reservatórios, por intervalo horário, é possível notar que durante as primeiras seis horas de planejamento, o volume dos reservatórios diminui, indicando o uso da água para irrigação das culturas. Já nos intervalos horários finais, foi realizada a recarga dos reservatórios. Isto aconteceu, pois as demandas das culturas já haviam sido atendidas e ainda existia disponibilidade hídrica nos cursos d'água. O sistema prioriza o atendimento às demandas das culturas, mas quando estas demandas terminam, caso ainda haja disponibilidade de água nos cursos d'água e possibilidade de armazenamento nos reservatórios, a reservação hídrica é aplicada. No final das doze horas de planejamento, todos os reservatórios foram entregues abastecidos com volume igual ou muito próximo ao volume máximo permitido.

Neste cenário, nos intervalos temporais de 1 a 6, o sistema priorizou as captações em curso d'água com destino para culturas não conectadas a reservatórios. Como os reservatórios estavam totalmente cheios, não foram priorizadas as captações com destino para reservatórios. E as culturas conectadas a reservatórios, foram abastecidas pela água reservada, sem competir pela água dos arcos da hidrografia. Este gerenciamento pode ser observado pelo gráfico de acompanhamento das vazões captadas no arco 5, arco da hidrografia que possui a maior quantidade de culturas a serem atendidas. O volume máximo de captações no arco 5, para o cenário 2, não ultrapassou os 12.647 l/h ao longo do período de planejamento. Já no cenário 1, a soma de captações no arco 5 alcançou 33.964 l/h em alguns intervalos

temporais. A vazão captada no arco 5 para o cenário 2 foi menor, pois o sistema também conseguiu alocar os volumes disponíveis nos reservatórios 4 e 5 para atendimento às culturas 8, 9 e 10. A partir do intervalo temporal 7, a quantidade de captações diminuiu consideravelmente nos arcos da hidrografia. Esta situação ocorreu, pois as demandas de irrigação prioritárias já haviam sido atendidas e os reservatórios novamente se aproximaram de sua capacidade máxima.

Assim como no cenário 1, e considerando que as demandas hídricas foram todas atendidas em cinco horas, também seria viável considerar uma maior restrição da vazão outorgável para a microbacia. Além do potencial de aplicação do sistema já comentado no cenário 1, o cenário 2 também levanta a possibilidade de utilização das simulações para planejamento da construção e dimensionamento de reservatórios na microbacia. A utilização dos reservatórios pode ser avaliada pela comunidade como uma forma de regularizar o uso da água na região, evitando ou minimizando os impactos provocados por eventos climáticos extremos e longos períodos de escassez.

#### 5.4.1.3 Cenário 3 – Reservatórios Parcialmente Carregados

Neste último cenário, os volumes máximos de operação dos reservatórios também foram definidos como o volume equivalente a um dia ou vinte e quatro horas de abastecimento pela vazão de captação associada. Porém, os volumes iniciais dos reservatórios foram iguais a um oitavo do volume máximo permitido, ou seja, o equivalente a três horas de abastecimento pela vazão de captação associada. O objetivo é tentar equilibrar o uso da água entre reservatórios e cursos d'água para suprimento das demandas da microbacia. Os resultados da simulação são apresentados no APÊNDICE Y.

Pelos resultados publicados para o cenário, após cinco intervalos temporais, todas as culturas já se encontravam com demandas hídricas de baixa criticidade, classificadas nas cores verde ou azul da régua de manejo do irrigâmetro. O suprimento inicial de água nos reservatórios evitou a necessidade de captações para reserva hídrica nas primeiras horas do planejamento. Assim como no cenário 2,

o sistema conseguiu planejar a irrigação, simultânea, de culturas atendidas por reservatórios e por cursos d'água. Em doze horas de operação, todas as culturas já se encontravam na situação de capacidade de campo, onde a irrigação já não deve mais ser praticada.

Pelo gráfico de acompanhamento dos reservatórios, é possível verificar que entre os intervalos temporais 3 e 7 foi registrado o período de maior baixa dos volumes armazenados. Após este período, os reservatórios voltaram a ser abastecidos, gradativamente, sendo entregues no final das doze horas de planejamento com um volume somado superior ao volume inicial total. A redução dos volumes armazenados, nas primeiras horas do planejamento, ocorreu devido à utilização dos reservatórios para suprimento das demandas de irrigação. Após as três primeiras horas, os reservatórios já estavam vazios ou com níveis muito baixos para operação, mas ainda não podiam ser recarregados, pois ainda existiam culturas com demandas para irrigação que tinham preferência pela água disponível nos cursos d'água. Após as sete horas iniciais, as demandas por irrigação prioritárias já haviam sido atendidas, e a recarga dos reservatórios foi então iniciada, respeitando a disponibilidade de água nos arcos da hidrografia.

Com este cenário é possível analisar como o sistema realiza a gestão da disponibilidade hídrica entre cursos d'água e reservatórios. No intervalo temporal 5, por exemplo, ocorreu um pico de captações no arco 5. Neste horário, as culturas 8, 9 e 10 competiam pela água disponível no arco 5 e reservatórios 4 e 5. Porém, o reservatório 5 não possuía volume útil disponível para captações e o reservatório 4 só possuía volume suficiente para atendimento a uma única captação. O sistema, então, alocou a água disponível do reservatório 4 para uma cultura e ativou duas outras captações com origem no arco 5 para atendimento às outras duas culturas. Para que o arco 5 pudesse prover vazão suficiente, o sistema não ativou captações nos arcos 2 e 4, a montante.

Assim como nos cenários anteriores, todas as demandas hídricas críticas foram atendidas em menos de seis horas. Portanto, também seria viável considerar uma maior restrição da vazão outorgável para a microbacia, ajustando a vazão residual na foz e em outros pontos da rede hidrográfica. Outra potencial funcionalidade do sistema, ainda não apresentada nos cenários anteriores, seria executar simulações

de vários dias consecutivos. Desta forma, os atores da microbacia poderiam dimensionar reservatórios, vazões residuais e intervenções hídricas considerando períodos de escassez hídrica maiores.

As simulações dos cenários foram executadas em um computador pessoal com processador Intel® Core 2 Duo de 1GHz, com 3GBytes de memória e sistema operacional Microsoft® Windows XP. O tempo de execução com as configurações apresentadas para cada cenário foi inferior a cinco segundos utilizando o algoritmo de programação linear da Gurobi®, automaticamente selecionado pela ferramenta de modelagem matemática para os testes. A execução dos mesmos testes utilizando uma implementação do algoritmo Simplex da Microsoft® durou 60 vezes mais tempo, cinco minutos em média, fornecendo os mesmos resultados. O ótimo desempenho das rotinas, refletido no curto tempo de execução, se deve em grande parte, às simplificações realizadas no modelo matemático proposto.

#### **5.4.2 Avaliação das Funcionalidades na *Web***

A avaliação da aplicação na *web* consistiu na realização de testes com cada uma das telas construídas, seguindo a ordem natural do fluxo de operação do SAD (Figura 4.7), apresentado na seção 4.1.2, e avaliando a aplicabilidade, acessibilidade, navegabilidade, facilidade de uso, desempenho das funcionalidades e integração com base de dados e rotinas de otimização. A sequência de testes foi guiada pela Tabela 5.11, da seção 5.3.3, que apresenta todas as telas desenvolvidas, na ordem pretendida de utilização no sistema. Os vários níveis dos *menus* da aplicação foram disponibilizados nesta ordem com o intuito de facilitar a navegação, guiando os usuários ao longo do fluxo natural de operação do sistema.

As primeiras telas avaliadas foram do módulo Consulta, disponibilizado para cadastro das informações relacionadas às outorgas coletivas. Todas as telas do módulo são habilitadas para o perfil Outorga, direcionado apenas a usuários dos órgãos gestores dos processos de outorga coletiva. Através das telas do módulo, foram simuladas a realização de cadastros, consultas e atualizações das informações de pessoas, empreendimentos, fluviômetros, outorgas, irrigômetros, atividades, reservatórios e

intervenções, ou seja, todas as entidades relacionadas a um processo de outorga coletiva. O módulo permite a gestão centralizada dos processos de outorga coletiva pelo órgão gestor, agências de bacias e comitês locais.

Posteriormente foram simuladas as atividades de operação diária do sistema, que só devem ser utilizadas após o cadastro do processo de outorga coletiva. As telas do módulo Operação para monitoramento de fluviômetros, irrigômetros, reservatórios e previsão de precipitação foram utilizadas, simulando a utilização pelos analistas responsáveis associados aos perfis Fluviômetro, Irrigômetro, Reservatório e Meteorologia, respectivamente. As telas para consulta do planejamento de operação gerado pela rotina de otimização e cadastro da operação realizada pelos produtores rurais também foram testadas.

O módulo Relatórios, inicialmente disponível para todos os perfis de acesso do sistema, permite que os usuários tenham visibilidade sobre os dados históricos armazenados na base de dados, sendo possível acompanhar o planejamento e operação dos sistemas de irrigação, sistemas de captação, níveis de reservatórios e vazões nos cursos d'água ao longo de todo o período de utilização do sistema. Os relatórios foram testados, com o objetivo de verificar principalmente o tempo de espera das consultas à base de dados. Nos testes, o tempo de espera foi considerado imperceptível do ponto de vista do usuário, porém, por se tratar de uma aplicação na *internet*, o desempenho das funcionalidades da aplicação estará diretamente relacionado ao desempenho das conexões com a *internet* de cada usuário. Muitos outros diagnósticos de recursos hídricos poderão ser realizados por meio do banco de dados unificado e outros relatórios poderão ser desenvolvidos, em versões posteriores para complementação dos atuais, sobretudo com potencial de apoiar ações de fiscalização e planejamento pela comunidade e órgãos gestores.

Por fim, o módulo Simulação da aplicação *web* também foi avaliado utilizando a microbacia hipotética (Figura 4.14), especificada na seção 4.4.1, e as mesmas configurações de arcos, reservatórios, culturas e interferências definidas para o cenário 3 de testes com a rotina de otimização. Porém, nesta última simulação, via aplicação *web*, o cenário foi executado considerando uma previsão de precipitação de 5 mm e 98% de probabilidade de chuvas para o dia. O período diário total para planejamento da operação foi reduzido para apenas três horas, para simplificar a



análise dos resultados gerados. Também não foram definidas restrições horárias para outorga, culturas ou intervenções hídricas.

Todos os passos da tela de cadastro de simulação da aplicação *web*, apresentados na seção 5.3.3.4, foram executados. Os passos iniciais registraram todas as informações relacionadas ao teste. Já os últimos quatro passos foram gerados automaticamente ao se gravar a simulação, consolidando os resultados da execução da rotina de otimização em relatórios de acompanhamento de atividades, fluviômetros, reservatórios e intervenções hídricas. Os relatórios gerados pela simulação, na aplicação *web*, estão disponíveis nos apêndices (APÊNDICE Z, AA, AB e AC).

De maneira resumida, a Tabela 5.14 apresenta, para cada cultura do cenário de simulação, a lâmina líquida necessária obtida na leitura dos tubos de alimentação dos irrigômetros e os valores correspondentes para o tempo de irrigação necessário e prioridade. Estas três informações, além da respectiva cor da régua de manejo, são apresentadas em duas visões: (1) sem considerar o efeito da previsão de precipitação; e (2) após aplicação dos ajustes pela previsão de precipitação. É possível observar que apenas a cultura 4, por ter prioridade inferior a 550, sofreu ajustes nos dados pelo sistema, diminuindo em uma hora o tempo de irrigação necessário. As demais culturas não sofreram ajustes pela previsão por já estarem em estado bem avançado de escassez hídrica.

**Tabela 5.14 – Informações de culturas consolidadas para cenário com previsão de precipitação**

Cultura	Sem Previsão de Precipitação			Ajustes pela Previsão de Precipitação			Horas a Irrigar Final	
	Tubo (mm)	Horas a Irrigar	Prioridade	Tubo (mm)	Horas a Irrigar	Prioridade	Sem Chuva	Com Chuva
1	16.8	4	1900	16.8	4	1900	2	1
2	18	6	1730	18	6	1730	3	2
3	20	2	2329	20	2	2329	1	1
4	16	4	361	12	3	74	1	0
5	17.1	9	2703	17.1	9	2703	6	4
6	16.8	4	1900	16.8	4	1900	1	0
7	18	6	1730	18	6	1730	3	2
8	20	2	2329	20	2	2329	1	1
9	20	5	882	20	5	882	2	1
10	17.1	9	2703	17.1	9	2703	6	4

As duas últimas colunas da Tabela 5.14 apresentam a quantidade de horas a irrigar, para cada cultura, no final do período de planejamento realizado pelo sistema, considerando duas visões distintas: (1) sem a ocorrência de chuvas, ou seja, contrariando a previsão; e (2) com a ocorrência de chuvas, confirmando a previsão de

5 mm de chuva. Os ajustes pela previsão de precipitação continuam garantindo prioridade alta de atendimento às culturas com maior déficit hídrico. Interessante notar que caso a prioridade da cultura 4 não tivesse sido ajustada, ela poderia ter sofrido com irrigação em excesso, acima da capacidade de campo, desperdiçando água e sofrendo com encharcamento. De acordo com os dados, no caso de ocorrência de chuvas e confirmando a previsão de 5 mm, todas as culturas se encontrarão com demandas hídricas de baixa criticidade, classificadas nas cores verde ou azul da régua de manejo do irrigâmetro. A utilização da previsão de precipitação para o planejamento de alocação de água permite uma distribuição ainda mais justa dos recursos hídricos disponíveis, pois prioriza as culturas que não podem aguardar pela chuva, e evita o desperdício nos casos em que a irrigação pode ser postergada.

Todas as funcionalidades do sistema foram avaliadas e responderam conforme as expectativas. O sistema foi projetado para ser autoexplicativo e de fácil utilização, podendo ser executado em qualquer navegador *web*, utilizando qualquer sistema operacional, com capacidade ilimitada do número de acessos simultâneos. As interfaces amigáveis na *web*, entregues com o sistema, simplificam o diálogo com os usuários, pois apresentam um guia com o passo a passo para preenchimento em um único formulário por funcionalidade de cadastro ou consulta, evitando a alternância entre diversas telas da aplicação e facilitando a navegação. Outro ponto a favor da facilidade de uso é a validação das informações durante o preenchimento dos formulários, com indicação da informação a ser revisada pelos usuários.

O sistema pode ser compartilhado por vários usuários e organizações, em diferentes escalas, através de seu controle de acesso diferenciado, que habilita funcionalidades específicas de acordo com cada tipo de usuário e garante a segurança das informações trocadas entre os diversos perfis. O sistema serve não apenas como um portal para divulgação de informações de propriedades e usuários da microbacia, mas principalmente, para operacionalizar o instrumento outorga coletiva, com redução dos processos nos órgãos gestores e inserção dos usuários da água na gestão dos recursos hídricos, com base nos princípios da PNRH, apresentados na seção 3.1.1.

## 5.5 DIRETRIZES PARA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA

Baseando-se nos resultados obtidos no decorrer das atividades de concepção, construção e avaliação do sistema informacional, serão apresentadas as diretrizes propostas para operacionalização do uso integrado do sistema de apoio à decisão, irrigômetros e demais componentes da arquitetura pelas instituições envolvidas e comunidade, visando à gestão dos recursos hídricos em nível de microbacia.

### 5.5.1 Discussões com Especialistas

Durante as oficinas com os especialistas e instituições parceiras do LabGest para apresentação dos resultados das fases de desenho, construção e avaliação do SAD, foram discutidas as recomendações para implantação e operação do sistema, pontos de preocupação e melhorias futuras, focando na proposição de diretrizes para a operacionalização do instrumento outorga coletiva em microbacias, apoiada pelo sistema de apoio à decisão integrado aos irrigômetros.

Os técnicos do IEMA, entrevistados, consideram a outorga coletiva um instrumento com grande potencial para a regulação do uso da água. Alguns entrevistados acreditam que o instrumento é o único meio capaz de surtir efeitos na regularização dos usos, uma vez que a outorga individual não vem dando resultados satisfatórios, em algumas regiões. De forma geral, a partir do momento que são estabelecidas as regras de uso e as restrições para a comunidade, os produtores se reconhecem em situação limitante. Segundo os analistas de outorga entrevistados, a conscientização de todos os usuários sobre o problema de escassez é fundamental para se garantir a participação da comunidade e de instituições locais nos assuntos relacionados à gestão da água, por meio da maior articulação, maior interação e colaboração entre estes atores.

Os especialistas do IEMA concordaram que os cenários de utilização da água contemplados pelo projeto foram suficientes para uma avaliação inicial, porém ressaltaram a importância de se evoluir para um cenário ainda mais real, com barragens, lançamentos de efluentes e outras interferências que podem influenciar o

planejamento hídrico na região. Também ressaltaram a importância de se considerar outras fontes de demandas hídricas, em futuras versões do sistema, além da agricultura irrigada, porém utilizando critérios semelhantes para a definição de prioridades baseando-se na criticidade da água no momento de planejamento.

A utilização do irrigâmetro como ferramenta de manejo para integração com o sistema também foi foco das discussões. Os especialistas em outorga coletiva, em manejo de irrigação e do Projeto Sossego entenderam a escolha do aparelho, por ser de baixo custo e de fácil operação pelos produtores, contribuindo para uma maior participação dos agricultores no acompanhamento do manejo diário. A possibilidade de uso compartilhado dos aparelhos entre diversas culturas, apenas com a alteração das réguas associadas através do sistema de informações também foi visto como um avanço na utilização do irrigâmetro em nível de microbacia, principalmente por reduzir a quantidade de equipamentos necessários na operacionalização do manejo de irrigação. Os especialistas comentaram sobre a importância das manutenções periódicas nos aparelhos. Sugeriram, inclusive, a possibilidade de o sistema avisar, periodicamente, a necessidade destas manutenções aos responsáveis por meio de comunicação escrita na tela inicial, apresentada após o acesso dos usuários à aplicação *web*.

Como forma de eliminar a dependência com os irrigâmetros, o especialista em manejo de irrigação do Projeto Sossego sugeriu que em versões posteriores fosse considerada a utilização dos dados de estações de monitoramento para geração das demandas hídricas de culturas. Assim, em muitas regiões, bastaria a instalação de apenas uma estação meteorológica para toda a microbacia, reduzindo custos e centralizando a operação e acompanhamento das informações de demandas. Para isso, também seria necessário sistematizar os cálculos de evapotranspiração do irrigâmetro no sistema. Segundo o entrevistado, considerando que as características de solo, vento, radiação, e outros fatores que influenciam a evapotranspiração são muito parecidos em toda a região hidrográfica, esta estratégia poderia ser utilizada com boa confiabilidade.

Sobre o fluxo de operação do sistema, os especialistas em outorga coletiva expuseram a sua preocupação com relação à infraestrutura de *internet* e computacional dos usuários, principalmente produtores rurais. O uso da automação

evitaria estes problemas de acessibilidade, porém poderia aumentar os custos com equipamentos de telemetria e automação. Sugeriram que num primeiro momento, ainda sem a automação das atividades de irrigação, poderiam ser eleitos alguns responsáveis na comunidade para alimentação dos dados do manejo de irrigação no sistema.

Os especialistas em manejo de irrigação também se preocuparam com a logística de operação do sistema no cenário não automatizado, pois exige que todos os envolvidos estejam comprometidos com as suas atribuições em relação ao sistema para cadastro dos dados de acompanhamento de irrigômetros, fluviômetros, previsões de precipitação e níveis de reservatórios. Comentaram que a automação pode ser facilmente implementada nos fluviômetros, reservatórios e previsões de precipitação, mas o custo de automação de irrigômetros poderia ser alto. Porém, este custo com a automação e telemetria, seria compensado facilmente ao longo do tempo por evitar o custo logístico de operação do sistema. Os especialistas em manejo de irrigação também ressaltaram a importância de que os produtores, mesmo no modo automático, autorizem a operação das irrigações planejadas, via sistema, já que podem ocorrer perdas financeiras em caso de falhas e os usuários devem estar cientes disto.

O especialista com atuação local, no Projeto Sossego, considera o fluxo de operação viável, principalmente no cenário totalmente automatizado, pois já existem casos de produtores na região do Córrego Sossego com sistemas de irrigação operando de forma automática e alternando a irrigação entre os dias. O entrevistado acredita que a receptividade seria muito boa na região, principalmente se o uso do sistema não levar a perdas de produtividade. Segundo ele, a falta de infraestrutura deverá ser atendida ao longo do tempo e com a necessidade de implantação de projetos deste tipo. Sugeriu que em versões futuras, poderiam ser incluídos controles adicionais no sistema, como o monitoramento do consumo de energia e água para fiscalização.

Os especialistas em meteorologia sugeriram a integração do sistema com informações provenientes de radares meteorológicos. Assim, no modo automatizado, seria possível interromper a irrigação em caso de início de chuvas.

Após o término das chuvas, o sistema poderia refazer os cálculos de alocação de água e refazer o planejamento das irrigações para o dia.

De forma geral, todos os entrevistados e participantes das sessões técnicas acharam promissor o sistema e a arquitetura de implantação e operação proposta e incentivaram a realização de um projeto piloto para comprovação das expectativas em ambiente real de operação.

### **5.5.2 Proposição de Diretrizes**

Como forma de operacionalizar o uso do SAD em regiões em conflito devido à escassez hídrica na agricultura, são sugeridas as seguintes diretrizes.

#### **a) Realização de reunião inicial para planejamento da implantação do sistema**

Esta atividade deve ser conduzida pela instituição gestora dos recursos hídricos na região, que declarou a situação de conflito pelo uso da água. A reunião inicial deve ser realizada entre os principais atores envolvidos na gestão hídrica da região. Neste primeiro contato, devem ser apresentados os benefícios da outorga coletiva, do uso racional da água na agricultura apoiado pelo manejo de irrigação e, principalmente, os benefícios da utilização do sistema de apoio à decisão integrado aos irrigômetros e demais componentes da arquitetura, visando uma alocação justa da água disponível na região entre os usuários e respeitando as limitações da outorga. A reunião inicial também é o momento para se definir a área de abrangência hídrica e geográfica de utilização do sistema, delimitando o escopo da outorga coletiva.

Este primeiro contato de mobilização com a comunidade é fundamental para identificação e confirmação dos atores envolvidos na problemática da gestão hídrica e garantir o comprometimento, participação e colaboração da comunidade nas atividades seguintes para implantação e operação do sistema de informações.

#### **b) Levantamento dos dados georreferenciados da região hidrográfica**

Após a delimitação da rede de drenagem que será atendida pela outorga coletiva, devem ser coletados os dados de Modelos Digitais de Elevação (MDE) da região. Estas informações, normalmente, já existem sob a custódia das instituições gestoras de recursos hídricos e devem ser carregadas no sistema de informações para permitir a visualização da rede de drenagem, a localização geográfica dos pontos de interferência hídrica e a identificação de impactos na rede hidrográfica.

A recomendação é de que a organização territorial também seja carregada na base de dados do sistema com informações georreferenciadas disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em camada de informação específica, permitindo análises em conjunto com os dados da organização da área de drenagem.

#### c) Cadastramento de usuários e propriedades atendidas pela outorga coletiva

As campanhas de cadastramento e recadastramento dos usuários e propriedades devem ser realizadas com a supervisão das instituições gestoras dos recursos hídricos, agências de bacias e comitês locais. É muito importante o apoio de associações de moradores e outras instituições inseridas na comunidade para que as atividades de levantamento sejam bem recebidas pelos usuários da água, conferindo maior rapidez e qualidade dos dados.

Neste levantamento, devem ser consultadas todas as informações que posteriormente serão registradas no sistema de informações, como dados detalhados de usuários, propriedades, atividades de irrigação, culturas praticadas, reservatórios e intervenções hídricas utilizadas.

A realização de contínuas campanhas para atualização do cadastro de usuários e propriedades é de extrema importância para a manutenção de uma base de dados com qualidade e confiável, representativa de toda a região hidrográfica.

#### d) Implantação de fluviômetros

Para que seja possível um controle diário das vazões residuais e outorgáveis ao longo da rede hidrográfica, os órgãos gestores da outorga coletiva deverão selecionar os pontos nos cursos d'água que deverão ser monitorados. Este

monitoramento pode ser realizado apenas na foz da microbacia ou em vários outros arcos da rede hidrográfica.

Nestes pontos de monitoramento, deverão ser instalados fluviômetros, caso ainda não existam, para o acompanhamento diário das vazões. Nesta etapa, também devem ser definidos os responsáveis pela coleta das medições em cada fluviômetro instalado. As informações de identificação, localização e responsável por cada fluviômetro deverão ser registradas no sistema em passos posteriores.

#### e) Implantação de irrigômetros e definição das réguas por cultura irrigada

Com o objetivo de monitorar as demandas diárias de todas as culturas, os especialistas em manejo de irrigação que suportam a região deverão definir a quantidade de irrigômetros necessários para a comunidade e selecionar os locais para instalação dos aparelhos. A quantidade de irrigômetros pode variar, já que é possível utilizar um equipamento por cultura irrigada ou compartilhar o uso entre várias culturas, reduzindo assim os custos totais de aquisição dos aparelhos e de monitoramento pela comunidade.

Durante a instalação dos irrigômetros, é recomendado a realização de uma avaliação dos sistemas de irrigação das culturas atendidas quanto à uniformidade de distribuição, que não deve ser inferior a 90% para os sistemas localizados (OLIVEIRA e RAMOS, 2008). Caso contrário, apesar do aparelho indicar a demanda hídrica necessária, o sistema de irrigação não estará distribuindo a água para as plantas de forma uniforme.

Nesta etapa, também devem ser definidos os responsáveis pela coleta das medições em cada irrigômetro instalado, as culturas atendidas por cada aparelho e as respectivas réguas de manejo e temporal associadas a cada cultura. Todas estas informações serão registradas no sistema em passos posteriores.

#### f) Preparação de infraestrutura de automação

Deve ser definido em conjunto com todos os atores envolvidos na comunidade, qual será o grau de automação dos componentes da arquitetura do sistema de informações. Todos os componentes do sistema que requerem acompanhamento



são passíveis de automação, como reservatórios, fluviômetros, irrigômetros, sistemas de captação, sistemas de irrigação e sistemas de previsões meteorológicas. O sistema de informações foi desenhado para permitir diferentes níveis de automação, sendo possível operar num cenário totalmente automatizado, parcialmente automatizado ou sem nenhuma automação de seus componentes.

Num cenário de total automação dos processos, as informações necessárias para a operação diária seriam recebidas pelo sistema de informações por telemetria e as captações e irrigações poderiam ser iniciadas remotamente pelo sistema, sem necessidade de intervenções manuais dos usuários. Porém, é necessário que a comunidade avalie os custos totais da estratégia de automação, já que os custos com equipamentos de telemetria e automação serão grandes durante a implantação. Em longo prazo estes custos tendem a ser diluídos, devido aos ganhos obtidos em função da praticidade e facilidade de operação do sistema.

Decidido sobre o grau de automatização, deverão ser instalados os equipamentos de telemetria e automação, e realizados pequenos ajustes no sistema para a correta recepção e processamento das informações de monitoramento. Para os componentes não automatizados, será necessário eleger os responsáveis pelo acompanhamento diário e cadastro das informações de monitoramento no sistema.

#### g) Criação do processo de outorga coletiva

Este passo trata da formalização, no órgão gestor de recursos hídricos, do processo de outorga coletiva para atendimento da região hidrográfica delimitada. A formalização é responsabilidade da instituição gestora de recursos hídricos, mas requer o apoio da comunidade, sobretudo na definição colaborativa das regras de operacionalização do instrumento de gestão.

Na criação do processo de outorga coletiva no órgão gestor, devem ser consolidados os cadastros de usuários e propriedades atendidos e definidas as regras para aplicação do instrumento na região, como restrições de vazões nos pontos de controle, restrições horárias das agendas de operação, utilização ou não das previsões de precipitação para ajustes das prioridades de demandas de irrigação, período de operação diário e intervalo temporal dos planejamentos

gerados pelo sistema, responsáveis pelo acompanhamento de cada componente do sistema e os horários limites diários para o cadastro das informações de monitoramento e operação no sistema. Ou seja, neste momento, toda a informação necessária para operacionalização do instrumento outorga coletiva deve estar disponível para cadastramento no sistema.

#### h) Implantação do sistema de informações na comunidade

Nesta etapa devem ser alocados os equipamentos da infraestrutura computacional necessários para instalação do sistema de informações. Não haverá custos com licenciamento de *softwares*, pois toda a arquitetura computacional é constituída por aplicações de distribuição e uso gratuito. Porém, é necessária a utilização de um computador para instalação da base de dados, modelos matemáticos e aplicação *web*. Este computador será utilizado como servidor de aplicação e requer conexão com *internet*, além de uma configuração mínima de *hardware* suficiente para instalação dos pacotes computacionais utilizados no desenvolvimento do SAD.

Após a disponibilização da infraestrutura computacional, devem ser realizadas as atividades descritas no fluxograma de implantação do SAD (APÊNDICE AD). As atividades de implantação devem ser conduzidas pelos administradores do sistema e pelos usuários do órgão gestor da outorga coletiva associados ao perfil Outorga. Os administradores do sistema são responsáveis pela carga inicial de informações na base de dados. O escopo desta carga inicial engloba os perfis de acesso, domínios de informações gerais, dados da organização da área de drenagem e organização territorial e as informações relacionadas a todas as réguas de irrigômetros com suas respectivas marcações. Após a carga inicial, os analistas do órgão gestor responsável pela outorga coletiva, através da utilização do módulo Consulta da aplicação *web*, deverão cadastrar todas as informações necessárias para operacionalização do processo de outorga coletiva na comunidade, utilizando como insumos as informações obtidas e definidas nas etapas anteriores. Após a execução do fluxograma de implantação do SAD, o sistema estará apto para uso pela comunidade.

#### i) Realização de oficinas para divulgação da implantação do SAD e início da operação na comunidade

Antes de iniciar a operação do sistema de informações, deve ser realizada uma série de oficinas com os futuros usuários da aplicação. As oficinas devem ter como objetivos: (1) divulgar a implantação do sistema de informações; (2) capacitar os futuros usuários; (3) conscientizar os atores sobre a importância de seu uso, bem como a necessidade de participação e colaboração de todos para que sejam alcançados os benefícios esperados na gestão de recursos hídricos da região.

Deverão ser realizados palestras e cursos específicos para cada perfil de usuário, ministrados em linguagem simples e direta, com exemplos práticos para que ocorra melhor aproveitamento da capacitação. O fluxograma de operação do SAD (APÊNDICE AE) deverá ser apresentado nas oficinas, ressaltando a responsabilidade de cada perfil de usuário na operação e no acompanhamento dos componentes do sistema. Também deverão ser reforçadas as restrições configuradas para a outorga coletiva, os responsáveis pelo acompanhamento de cada componente e acordado os horários limites diários para acesso ao sistema de informações. No cenário não automatizado, em que há necessidade de acessos de usuários ao SAD para cadastramento dos dados de operação e monitoramento, os horários limites diários, representados pelos relógios no fluxograma do APÊNDICE AE, devem ser respeitados, evitando atrasos no processamento da rotina de otimização e na aplicação do planejamento diário pelos produtores rurais.

Finalmente, após a divulgação e capacitação dos usuários, deverá ser definido um período para operação assistida do sistema de informações. Neste período, a aplicação ainda estará em avaliação pelos administradores e usuários, estando sujeita a pequenos ajustes visando facilitar a utilização pelos atores. Passado este período de adaptação, o sistema de informações deve ser oficializado como instrumento de gestão de recursos hídricos para a região hidrográfica. Os passos seguintes já consideram que o SAD está em plena utilização pela comunidade.

j) Realização de reuniões periódicas para acompanhamento do uso do SAD

Devem ser agendadas reuniões periódicas, pelas instituições gestoras dos recursos hídricos, agências de bacias ou comitês locais, com os atores envolvidos na utilização do sistema de apoio à decisão. Durante as oficinas deve ser avaliado o histórico de uso do sistema, através de consultas no módulo de relatórios. Neste

momento, será possível verificar se os usuários estão respeitando os horários limites diários de acesso ao sistema e se a operação realizada está aderente aos planejamentos gerados pela rotina de otimização. É o ambiente ideal para avaliar o uso do sistema pelos diversos perfis de usuários e discutir possíveis melhorias na aplicação e no fluxograma de operação utilizado, ajustando regras, parâmetros e redefinindo responsabilidades.

As oficinas também podem ser utilizadas para planejamento. Com o módulo de simulação é possível avaliar os impactos de alterações nos processos de outorga coletiva e na configuração de disponibilidades e demandas da região hidrográfica, decidindo ações em conjunto com a comunidade. Entre as possíveis avaliações, via simulação, estão: (1) alterações nas vazões residuais exigidas pelos órgãos gestores ou inclusão de novos pontos de controle; (2) alterações de parâmetros de reservatórios ou inclusão de novos reservatórios na região; (3) alterações de vazões, origens e destinos das interferências hídricas ou inclusão de novas interferências; (4) inclusão de novas culturas irrigadas atendidas pelo processo de outorga coletiva; (5) alteração das restrições horárias utilizadas; e (6) alteração das configurações para ajustes de prioridades pela previsão de precipitação.

#### k) Manutenção periódica de equipamentos e componentes do sistema

Diversos equipamentos e componentes da arquitetura do SAD dependem de manutenções periódicas para evitar degradação e mau funcionamento. Como exemplo, a uniformidade de distribuição dos sistemas de irrigação tende a reduzir-se ao longo do tempo, portanto, avaliações e ajustes quanto à uniformidade de distribuição deverão ser realizados não somente antes da instalação dos irrigômetros, mas também com certa frequência.

Outros equipamentos como fluviômetros, sistemas de telemetria e automação, sistemas de captação, sistemas de irrigação, reservatórios e irrigômetros também devem ser continuamente verificados e ajustados pelos responsáveis indicados no sistema de informações.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 6.1 CONCLUSÕES

Analisando as metodologias utilizadas, os resultados obtidos e as discussões realizadas, são apresentadas as conclusões por objetivo específico que possibilitaram o atendimento do objetivo geral do trabalho.

- **Objetivo Específico I – Concepção de Desenho do Sistema**

Como resultado da fase de concepção e desenho do sistema, foi proposto um novo instrumento de gestão comunitária dos recursos hídricos, fruto da integração do manejo de irrigação em nível de microbacia e dos instrumentos de gestão Outorga Coletiva e Sistema de Informações. O sistema serve não apenas como um portal para divulgação de informações de propriedades e usuários da microbacia, mas principalmente, para operacionalizar o instrumento outorga coletiva, viabilizando uma alocação mais justa da água entre pequenos produtores rurais de base agrícola familiar e minimizando conflitos.

Finalmente, o sistema de apoio à decisão projetado inclui uma série de avanços se comparado a outros SAD desenvolvidos para gestão de outorgas e para planejamento do manejo agrícola, como: (1) gestão de outorgas coletivas além das outorgas individuais, contribuindo para a redução de processos de outorgas nos órgãos gestores; (2) planejamento do manejo de irrigação em nível de microbacia, visando o atendimento das demandas hídricas de todas as propriedades de uma região; (3) planejamento e acompanhamento diário, com controle horário da operação de sistemas de captação e irrigação, e possibilidade de monitoramento em tempo real através da automação dos componentes da solução; (4) cálculo da vazão outorgável a partir da vazão residual, complementando as exigências baseadas em vazões mínimas de referência e proporcionando maior flexibilidade na determinação da disponibilidade hídrica num dado instante; (5) aplicação disponibilizada na *internet* com controle de acesso diferenciado por perfil de usuário, permitindo a divisão de responsabilidades entre os atores e incentivando a colaboração entre as

partes; e (6) ambiente de simulação para avaliação de impactos de alterações nos critérios de outorga e em outros parâmetros de decisão com a comunidade, fomentando a participação dos usuários no planejamento e na definição das regras de alocação de água.

- **Objetivo Específico II – Integração entre SAD e Irrigâmetros**

Para que o sistema pudesse comparar e diferenciar a criticidade do déficit hídrico das culturas, inclusive para os casos de demandas associadas a uma mesma cor da régua de manejo, cada milímetro do tubo de alimentação do irrigâmetro foi associado a um valor de prioridade distinto, variável por cultura ou régua de manejo utilizada, acompanhando o código de cores impresso nas régua. Através da rotina de otimização e das prioridades previamente definidas, o SAD consegue planejar as irrigações, atendendo preferencialmente às demandas mais críticas e evitando injustiças na distribuição da água outorgada.

Finalmente, ao possibilitar a integração dos vários irrigâmetros instalados com o sistema de informações, o projeto contribuiu com a ampliação do escopo de utilização deste instrumento de manejo de irrigação, promovendo o uso racional da água não apenas em nível de propriedade, mas em toda uma região hidrográfica. A utilização do irrigâmetro em conjunto com o sistema de informações ainda traz outras vantagens, como: (1) o compartilhamento do mesmo equipamento entre várias culturas, reduzindo os custos com aquisição de aparelhos para a microbacia; e (2) a possibilidade de utilização de previsões de precipitação, fornecidas por outras fontes de dados para apoiar no planejamento de irrigação, garantindo uma distribuição ainda mais justa e racional dos recursos hídricos disponíveis.

- **Objetivo Específico III – Desenvolvimento do SAD**

A fase de desenvolvimento do SAD foi marcada pela aplicação de avanços científicos e tecnológicos da área de Tecnologia da Informação na Gestão de Recursos Hídricos: (1) o sistema foi modelado e construído em camadas (base de dados, rotina de otimização e aplicação *web*), facilitando a sua gestão e expansão futura com a inclusão de novas funcionalidades; (2) a arquitetura cliente-servidor do sistema eliminou a necessidade de equipamentos de alto desempenho por parte dos

usuários, podendo ser acessado por computadores pessoais, *tablets*, *smartphones*, *notebooks* ou outros equipamentos com acesso à *internet*; (3) a base de dados foi modelada em módulos informacionais, tornando o repositório de informações flexível para adição de novas informações e utilização em outras bacias hidrográficas; (4) a aplicação *web* contou com um controle de acesso diferenciado, habilitando funcionalidades específicas de acordo com cada tipo de usuário; e (5) a rotina de otimização foi implementada com o apoio de um pacote computacional de modelagem matemática, garantindo velocidade ao processo de desenvolvimento e maior foco na modelagem, na busca por simplificações e no desempenho.

- **Objetivo Específico IV – Avaliação do SAD**

Os testes, com a rotina de otimização, comprovaram a funcionalidade de gerenciar as demandas de todas as culturas e coordenar a operação dos reservatórios e intervenções visando o melhor aproveitamento da água disponível na microbacia para o dia de simulação, atendendo às demandas segundo as prioridades previamente definidas. O sistema, através da informação de arcos a jusante, consegue representar toda a rede de drenagem da microbacia, permitindo que a rotina de otimização gerencie a disponibilidade dos recursos hídricos ao longo de toda a malha hidrográfica, computando os impactos gerados por captações a montante e a jusante do arco de interferência.

Além do planejamento diário de uso dos recursos hídricos, a rotina de otimização pode ser utilizada em simulações em conjunto com a comunidade, visando um planejamento de longo prazo para a microbacia. Foi comprovado o potencial de utilização do sistema para avaliar os impactos: (1) de ajustes nos valores de vazão residual para o processo de outorga coletiva; (2) da inclusão de novas culturas na microbacia; (3) da alteração das vazões reais nos arcos da hidrografia; (4) da alteração das vazões de operação das interferências hídricas cadastradas; e (5) do aumento ou diminuição do período disponível para operação.

- **Objetivo Específico V – Diretrizes para Utilização do Sistema**

O conjunto de diretrizes proposto é resultado de um aprimoramento metodológico, baseado na integração de saberes e de áreas de conhecimento distintas, para

implementação do instrumento de gestão outorga coletiva em microbacias com conflitos devido a escassez hídrica. As diretrizes sugerem uma divisão de responsabilidades entre os diversos atores e exigem participação e colaboração contínua de todos os envolvidos na gestão das águas na região, permitindo, em longo prazo, o aprendizado com as ações tomadas e a sustentabilidade do sistema de apoio à decisão na comunidade.

## 6.2 RECOMENDAÇÕES

Os avanços obtidos com o sistema de informações ainda podem ser ampliados com a incorporação de outros procedimentos. Abaixo, estão listados os próximos desafios e recomendações para desenvolvimento de estudos futuros relacionados aos temas abordados no trabalho.

- Realizar projeto piloto, com a implantação e operação da solução em uma microbacia real, em conflito pelo uso da água, para comprovação das expectativas em ambiente real de operação, verificando a necessidade de ajustes no sistema, fluxos de implantação e operação para disponibilização de versão aperfeiçoada da solução.
- Realizar estudos comparativos do impacto de uso do sistema de informações integrado aos irrigômetros sobre a produtividade, em nível de microbacia.
- Utilizar o sistema de informações para gestão de múltiplas outorgas (individuais e coletivas) em simultâneo, abrangendo regiões hidrográficas vizinhas e ampliando o escopo da solução para mais de uma dominialidade de gestão.
- Atualizar as interfaces com os usuários, buscando a inclusão de elementos visuais, como a representação gráfica de irrigômetros e reservatórios, visando uma maior facilidade de uso e satisfação dos usuários.
- Realizar estudos relacionados à gestão e planejamento, pelo sistema, de eventos climáticos extremos, e identificar a necessidade de controles adicionais que possibilitem esta gestão.
- Evoluir a solução para atender a cenários mais complexos, com barragens, lançamentos de efluentes e outras interferências que podem influenciar o



planejamento hídrico na região. Também devem ser consideradas outras fontes de demandas hídricas, além da agricultura irrigada.

- Utilizar dados de estações de monitoramento para geração das demandas hídricas de culturas, eliminando a exigência de utilização de irrigâmetros.
- Integrar o sistema de informações a outras fontes de informação meteorológicas, como radares meteorológicos. Assim, em modo automatizado, seria possível interromper a irrigação em caso de detecção de chuvas ou de forte indício de ocorrência de chuvas.
- Realizar estudo para alteração dos cálculos das prioridades de demandas hídricas, com o objetivo de se alcançar uma distribuição cada vez mais justa da água e de acordo com novos parâmetros definidos em conjunto com a comunidade. Por exemplo, considerar outras informações além da criticidade da demanda hídrica nos cálculos, como eficiência dos sistemas de irrigação, indicadores socioeconômicos dos usuários, área irrigada, produtividade, tipos de culturas e fases de desenvolvimento das culturas, etc.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília – DF: ANA, 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Outorga de Direito de Uso**. Brasília – DF: ANA, 2011. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/FolderOutorga.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**: informe 2012. Ed. Especial. Brasília – DF: ANA, 2012.

ARMITAGE, D.; MARSCHKE, M.; PLUMMER, R. Adaptive Co-management and the Paradox of Learning. **Global Environmental Change**, [S.l.], v. 18, p. 86-98, 2008.

BARBOSA, V. S. **Avaliação do Desempenho do Irrigâmetro na Estimativa da Evapotranspiração de Referência para as Condições da Região Sul do Estado do Espírito Santo**. 2010. 67 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre – ES, 2010.

BARROS, M. T. L. A Programação Dinâmica Aplicada à Engenharia de Recursos Hídricos. In: PORTO, R. L. L. (Org.). **Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Porto Alegre – RS: Editora da Universidade UFRGS – ABRH, 1997. p. 239-277.

BASAK, N. N. **Irrigation Engineering**. Nova Deli: McGraw-Hill, 1999.

BERKELAAR, M. **Introduction to Ip\_solve 5.5.2.0**. [S.l.: s.n., 2013?]. Disponível em: <<http://lpsolve.sourceforge.net>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 7. ed. Viçosa – MG: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; MANTOVANI, E. C. Desenvolvimento de um Programa para Avaliação da Irrigação por Sistemas Pressurizados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 4., 2001, Araguari – MG. **Anais...** Viçosa – MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p. 42-48.

BRAGA, B.; BARBOSA, P.S.F.; NAKAYAMA, P.T. Sistemas de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 3, n. 3, p. 73-95, 1998.

BRAGA, B. P. F. Técnicas de Otimização e Simulação Aplicadas em Sistemas de Recursos Hídricos. In: BARTH, F. T. (Org.). **Modelos Para Gerenciamento de Recursos Hídricos**. São Paulo: ABRH/Nobel, 1987. cap. 5, p. 427-518.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 9 jan. 1997. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1998.

BRIGAGÃO, E. N. **Integração de Análise Econômica e Financeira a Sistemas de Apoio à Decisão de Enquadramento, Outorga e Cobrança de Recursos Hídricos**: aplicação à bacia da barragem do rio descoberto no distrito federal. 2006. 119 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília – DF, 2006.

BUTTERWORTH, J.; WARNER, J.; MORIARTY, P.; SMITS, S. BATCHELOR, C. Finding Practical Approaches to Integrated Water Resources Management. **Water Alternatives**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 68-81, 2010.

CÂMARA, G.; CASANOVA, M.; HEMERLY, A.; MAGALHÃES, G.; MEDEIROS, C. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Campinas: Instituto de Computação, UNICAMP, 1996.

CAP-NET. **Integrated Water Resources Management for River Basin Organisations**. África do Sul, 2008.

CARDOSO H. E. A.; MANTOVANI, E. C.; COSTA, L. C. **Manual do SISDA – Sistema de Suporte a Decisão Agrícola**: versão 2.0. Viçosa – MG: DEA/UFV, 1997.

CARVALHO, M. A. **Sistema de Suporte à Decisão para Alocação de Água em Projetos de Irrigação**. 2003. 193 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2003.

CATALUNHA, M. J. **Sistema Integrado em Rede para Gestão do Uso Múltiplo da Água e Regionalização da Q<sub>7,10</sub> para os Períodos Mensal, Bimestral, Trimestral e Anual**. 2004. 165 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2004.

CHAMON, O. **Estudo Comparativo da Demanda de Água e do Manejo de Irrigação em Lavoura de Café**. 2002. 135 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2002.

CHAVES, H. M. L.; ROSA, J. W. C.; VADAS, R. G.; OLIVEIRA, R. V. T. Regionalização de Vazões Mínimas em Bacias Através de Interpolação em Sistemas de Informações Geográficas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002.

CHRISTOFIDIS, D. **O Futuro da Irrigação e a Gestão das Águas**. Brasília – DF: Ministério da Integração Nacional, 2008. Série Irrigação e Água: I.

CIRILO, J. A. Programação Não Linear Aplicada a Recursos Hídricos. In: PORTO, R. L. L. (Org.). **Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos**

**Hídricos**. Porto Alegre – RS: Editora da Universidade UFRGS – ABRH, 1997. cap. 6, p.305-360.

CLARK, D. **CropWat for Windows**: user guide. Version 4.2. [S.l.: s.n.], 1998.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH) (Brasil). Resolução nº 13, de 25 de setembro de 2000. Estabelece Diretrizes para a Implementação do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 26 set. 2000. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2000.

CONTIN, F. S. **Tecnologia do Irrigâmetro Aplicada no Manejo da Irrigação do Feijão**. 2008. 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2008.

COORDINATION SUD. **Fair Share of Water**: ensuring access to water for family farming in the South. Coordination SUD Agriculture and Food Commission Report. Paris, 2012.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade Hídrica para Outorga**: avaliação de aspectos técnicos e conceituais. 2001. 189 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2001.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. **FAO Irrigation and Drainage Paper**. Rome: FAO, n. 33, 1979.

Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRAS). **Metodologia para Regionalização de Vazões**. Rio de Janeiro, 1985a.

Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRAS). **Manual de Minicentrals Hidrelétricas**. Rio de Janeiro, 1985b.

ESPÍRITO SANTO (Estado). **Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura Capixaba**: novo PEDEAG 2007-2025. Vitória/ES: Governo do Estado do Espírito Santo, 2008.

FANG, H.; CHENG, Y.; YAN, S. Optimization on Water Resource System Operation Policy During Drought. **Journal of Water Resource and Protection**, [S.l.], v. 3, n. 2, p. 140-146, 2011.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Coping with Water Scarcity**: challenge of the twenty-first century. [S.l.], 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Irrigation in the Middle East Region in Figures**: AQUASTAT survey. Rome, 2008.

FOURER, R. A Simplex Algorithm for Piecewise-Linear Programming III: computational analysis and applications. **Mathematical Programming**, North Holland, v. 53, p. 213-235, 1992.

FOURER, R.; GAY, D. M.; KERNIGHAN, B. W. **AMPL**: a modeling language for mathematical programming. 2nd ed. United States of America: Duxbury Thomson, 2003. Disponível em: <<http://www.ampl.com>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

FRIZZONE, J. A. Manejo de Irrigação: função de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas – MG. **Anais...** Lavras – MG: Universidade Federal de Lavras, 1998. p. 86-116.

GARDUNO, H. Efficient Water Use: a multi-dimensional approach. In: GARDUNO, H.; COSRTÉS, F. A. **Efficient Water Use**. Montevideo: UNESCO-ROSTLAC, 1994. p. 17-24.

GIORDANO, R.; PASSARELLA, G.; URICCHIO, V. F.; VURRO, M. Integrating Conflict Analysis and Consensus Reaching in a Decision Support System for Water Resource Management. **Journal of Environmental Management**, [S.l.], v. 8, n. 84, p. 213-228, 2007.

GOLDBERG, D.; TEIXEIRA, A. S. **Drip Irrigation**: principles, design and agricultural practices. Kfar Shmaryahu / Israel: Ed. Drip Irrigation Scientific Publications, 1976.

GUROBI OPTIMIZATION. **Gurobi Optimizer Reference Manual**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.gurobi.com>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP). **Integrated Water Resources Management**. Technical Advisory Committee (TAC). Stockholm, Sweden, 2000.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP). **A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins**. Sweden, 2009.

HO, J. K. Relationships Among Linear Formulations of Separable Convex Piecewise Linear Programs. **Mathematical Programming**, North Holland, v. 24, p.126-140, 1985.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (IEMA) (Espírito Santo). Instrução Normativa nº 007, de 28 de maio de 2007. **Diário Oficial do Espírito Santo**, Cariacica, 2007. Disponível em: <<http://www.meioambiente.es.gov.br>>. Acesso em: 12 mar. 2013.

JAIRAJ, P. G.; VEDULA, S. Multireservoir System Optimization Using Fuzzy Mathematical Programming. **Water Resources Management**, [S.l.], v. 14, n. 6, p. 457-472, 2000.

LABADIE, J. W. **Program MODSIM**: river basin network flow model for the microcomputer. Colorado, USA: Colorado State University, 1988.

LABADIE, J. W. Reservoir System Optimization Models. In: LABADIE, J. W. **Decision Support Systems Applied to Water Resources Engineering**. São Paulo, Brasil, 1998. p.83-110.

LABADIE, J. W. Optimal Operation of Multireservoir Systems: state-of-the-art review. **Journal of Water Resources Planning and Management**, [S.l.], v. 130, n. 2, p. 93-111, 2004.

LABGEST. **Estudo da Influencia do Manejo da Irrigação na Produtividade de Café, Banana e Inhame na Bacia Experimental do Córrego Sossego – ES**. Relatório Final de Pesquisa. Vitória – ES, 2010.

LANKFORD, B. A.; HEPWORTH, N. The Cathedral and the Bazaar: monocentric and polycentric river basin management. **Water Alternatives**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 82-101, 2010.

LEME, E. J. A. **Otimização da Irrigação da Cana-de-Açúcar (*Saccharum spp.*) via Coeficientes de Cultura, Função de Produção e Programação Dinâmica**. 1991. 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, área de concentração Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 1991.

LEMONS, A. F. **Avaliação de Metodologias de Regionalização de Vazões Mínimas de Referência para a Bacia do Rio São Francisco, a Montante do Reservatório de Três Marias**. 2006. 85 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2006.

LIMA, G. B. **Avaliação de Métodos de Manejo da Irrigação em Pequenas Propriedades Rurais de Base familiar**. 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2013.

LIMA, H. V. C.; LANNA, A. E. L. Modelos para Operação de Sistemas de Reservatórios: atualização do estado da arte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 10, n. 3, p. 5-22, 2005.

LOPES, M. E. P. de A. **Avaliação de Racionalidade do Uso da Água na Agricultura**: desenvolvimento de modelos conceituais e de procedimento metodológico em apoio à co/auto-gestão de microbacia. 2011. 406 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2011.

LORENTZ, J. F.; MENDES, P. A. B. Conflitos em Torno do Uso da Água: uma saída viável. **GT Águas, A Revista das Águas**, [S.l.], v. 4, n. 10, 2010. Disponível em: <<http://revistadasaguas.pgr.mpf.gov.br/edicoes-da-revista/edicao-10/materias/conflitos-em-torno-do-uso-da-agua-uma-saida-viavel>>. Acesso em: 8 mai. 2014.

LOUCKS, D. P., STEDINGER, J. R., HAITH, D. A. **Water Resource Systems Planning and Analysis**. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1981.

MAKHORIN, A. **GNU Linear Programming Kit**: reference manual. Version 4.35. Moscow, Russia: Moscow Aviation Institute, 2009. Disponível em: <<http://www.gnu.org/software/glpk/glpk.htm>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

MANTOVANI, E. C. **Aspectos Básicos da Irrigação de Sistemas Pressurizados**. 2008. Apostila do curso de capacitação em irrigação oferecido pelo Banco do Nordeste do Brasil S.A., Montes Claros, 2008.

MARINS, F. A. S.; PERIN FILHO, C. Programação Linear por Partes: revisão teórica e aplicações. **Revista Produção**, Belo Horizonte – MG, v. 6, n.2, p.146-163, 1996.

MARQUES, F. A. **Sistema de Controle em Tempo Real para a Gestão dos Usos Múltiplos da Água**. 2010. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2010.

MARQUES F. A.; SILVA D.; RAMOS M.; PRUSKI F. Sistema Multi-Usuário para Gestão de Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.l.], v. 14, n. 4, p. 51-69, 2009.

MAXIMAL SOFTWARE. **MPL for Windows Manual**. [S.l.]. Disponível em: <<http://www.maximalsoftware.com/mpl>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

MENDONÇA, A. S. Regionalização Hidrológica. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.). **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre – RS: ABRH, 2001. cap. 7, p. 165-168.

MICROSOFT. **Microsoft Solver Foundation 3.1**. [S.l.]. Disponível em: <<http://msdn.microsoft.com/pt-br/devlabs/hh145003.aspx>>. Acesso em: 18 mai. 2014a.

MICROSOFT. **Microsoft Visual Web Developer Express**. [S.l.]. Disponível em: <[http://msdn.microsoft.com/pt-br/library/dd537667\(v=vs.100\).aspx](http://msdn.microsoft.com/pt-br/library/dd537667(v=vs.100).aspx)>. Acesso em: 19 jul. 2014b.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL (MIN). **Plano Diretor de Agricultura Irrigada do Estado de Minas Gerais – PAI-MG**. Belo Horizonte – MG, 2010.

MINAS GERAIS (Estado). **Projeto de Lei nº 2.955, de 15 de março de 2012**. Dispõe sobre a outorga coletiva do direito de uso de recursos hídricos e dá outras providências. Belo Horizonte/MG: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2012. Disponível em: <[http://www.almg.gov.br/atividade\\_parlamentar/tramitacao\\_projetos/interna.html?a=2012&n=2955&t=PL](http://www.almg.gov.br/atividade_parlamentar/tramitacao_projetos/interna.html?a=2012&n=2955&t=PL)>. Acesso em: 05 nov. 2014.

MITTELMANN, H. D. **Decision Tree for Optimization Software**: benchmarks for optimization software. Tempe, AZ, USA: Department of Math and Stats, Arizona State University, 2014. Disponível em: <<http://plato.asu.edu/bench.html>>. Acesso em: 05 nov. 2014



MURRAY, C. **Oracle Spatial User's Guide Reference**. 10g Release 1. Redwood City, CA: Oracle Corporation, 2003. Disponível em: <[http://docs.oracle.com/html/B10826\\_01/title.htm](http://docs.oracle.com/html/B10826_01/title.htm)>. Acesso em: 31 out. 2014.

MURRAY, C. **Oracle Database SQL Developer User's Guide**. Release 1.1. Redwood City, CA: Oracle Corporation, 2007. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technetwork/developer-tools/sql-developer>>. Acesso em: 18 jul. 2014.

NOVAES, L. F. **Modelo para a Quantificação da Disponibilidade Hídrica na Bacia do Paracatu**. 2005. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2005.

ORACLE. **Oracle Database Express Edition: getting started guide**. 11g Release 2 (11.2). [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://www.oracle.com/technetwork/database/database-technologies/express-edition/overview>>. Acesso em: 17 jul. 2014.

OLIVEIRA, R. A.; RAMOS, M. M. **Manual do Irrigâmetro**. Viçosa, MG: UFV, 2008.

OMME, N. V.; PERRON, L.; FURNON, V. **Google OR-Tools Open Source Library: user's manual**. [S.l.]: Google, 2013. Disponível em: <<https://code.google.com/p/or-tools>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

PAULA, A. L. T. **Tecnologia do Irrigâmetro e da Válvula Intermitente para Aspersor Aplicadas no Perímetro Irrigado do Jaíba**. 2009. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2009.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). Relatório do Desenvolvimento Humano 2006. **A Água para Lá da Escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água**. New York, NY, USA, 2006.

POLONI, D. M. **Desenvolvimento e Aplicação de Procedimento Metodológico em Suporte ao Planejamento Participativo para Redução de Perda de Solos em Pequenas Bacias Hidrográficas com Emprego da EUPS**. 2010. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2010.

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T. Sistemas de Suporte a Decisões Aplicados a Problemas de Recursos Hídricos. In: PORTO, R. L. L. (Org.). **Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Porto Alegre – RS: Editora da Universidade UFRGS – ABRH, 1997. p. 43-95.

POSTGIS. **PostGIS 2.1.5dev Manual**. SVN Revision (13042). [S.l.], 2014. Disponível em: <<http://postgis.net/stuff/postgis-2.1.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2014.

QUARENTEI, L. M. **Território e Territorialidades na Bacia Hidrográfica do Córrego Sossego: o uso de escalas de análise para a apreensão de conflitos de gestão de recursos hídricos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) –

Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES, 2010.

REICHARDT, K. **A água em Sistemas Agrícolas**. São Paulo, SP: Editora Manole, 1990.

REIS, E. F.; BARROS, F. M.; CAMPANHARO, M.; PEZZOPONE, J. E. M. Avaliação do Desempenho de Sistemas de Irrigação por Gotejamento. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa – MG, v. 13, p. 74-81. 2005.

REIS, L. F. R.; AKUTSU, J. Estratégias Operacionais para Sistemas de Reservatórios via Algoritmo Genético. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.I.], v. 7, n. 3, p. 5-17, 2002.

RIBEIRO, C. B. M.; MARQUES F. A.; SILVA D. D. Estimativa e Regionalização de Vazões Mínimas de Referência para a Bacia do Rio Doce. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa – MG, v. 13, n. 2, p. 103-107, 2005.

ROELOFS, M.; BISSCHOP, J. **AIMMS**: the user's guide. Haarlem, The Netherlands: Paragon Decision Technology, 2013. Disponível em: <<http://business.aimms.com>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

ROSENTHAL, R. E. **GAMS**: a user's guide. Washington, DC, USA: GAMS Development Corporation, 2014. Disponível em: <<http://www.gams.com/index.htm>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

SANTANA, A. G. **Dimensionamento Ótimo de um Sistema de Recursos Hídricos de Grande Porte**. 1998. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 1998.

SCHARDONG, A. **Aplicação de Técnicas de Programação Linear e Extensões para Otimização da Alocação de Água em Sistemas de Recursos Hídricos, Utilizando Métodos de Pontos Interiores**. 2006. 141 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 2006.

SCHRAGE, L. **Optimization Modeling with LINGO**. 6th ed. Chicago, Illinois: LINDO Systems, 2006. Disponível em: <<http://www.lindo.com>>. Acesso em: 18 mai. 2014.

SIMONOVIC, S. Reservoir Systems Analysis: closing gap between theory and practice. **Journal of Water Resources Planning and Management**, [S.I.], v. 118, n. 3, p. 262-280, 1992.

SILVA, D. D.; MARQUES F. A.; LEMOS A. F. Avaliação de Metodologias de Regionalização de Vazões Mínimas de Referência para a Bacia do Rio São Francisco. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa – MG, v. 17, n. 5, p. 392-403, 2009.

SILVA, E. M.; AZEVEDO, J. A. de; LIMA, J. E. F. W. **Análise de desempenho da irrigação**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2002. Documentos 70.

SILVA, L. M. C. da; NOLETO, F. A.; RIBEIRO, M. O. Alocação Negociada de Água do Açude Cocorobó (Rio Vaza Barris, Canudos - BA). In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 8., 2006, Gravatá – PE, **Anais...** Recife – PE: Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

SILVEIRA, P. M.; RAMOS, M. M.; OLIVEIRA, R. A. **Manejo da Irrigação do Feijoeiro com o Uso do Irrigâmetro**. Santo Antônio de Goiás, GO: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2009. Circular Técnica 84.

SOUSA F. M. L., NETO V. S. C., PACHECO W. E. BARBOSA S. A. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos: sistematização conceitual e modelagem funcional. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2009, Campo Grande – MS. **Anais...** Campo Grande – MS: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2009. Disponível em: <[https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/5ba51827fdb1c0776d3360fef6b9a8f\\_bc07358f47e33b11a716d6cd686c90c3.pdf](https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/5ba51827fdb1c0776d3360fef6b9a8f_bc07358f47e33b11a716d6cd686c90c3.pdf)>. Acesso em: 05 nov. 2014.

STEFANOV, S. M., **Separable Programming**: theory and methods. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001.

SYBASE. **PowerDesigner 12.5**. [S.I.], 2011. Disponível em: <<http://www.sybase.com.br/products/modelingdevelopment/powerdesigner>>. Acesso em: 17 jul. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de Vazões**. Porto Alegre/RS: Editora da Universidade/UFRGS, 2002.

TUCCI, C. E. M. Gestão Estratégica em Recursos Hídricos: evolução dos recursos hídricos. **Revista ABRH – Notícias**, Edição comemorativa do dia mundial da água. [S.I.], n. 10, 2006.

WURBS, R. A. Reservoir-System Simulation and Optimization Models. **Journal of Water Resources Planning and Management**, [S.I.], v. 119, n. 4, p. 455-472, 1993.

YEH, W. W. G. Reservoir Management and Operation Models: a state-of-the-art review. **Water Resources Research**, [S.I.], v. 21, n. 12, p. 1797-1818, 1985.



## **APÊNDICES**



## APÊNDICE A – Dados de Operação do Irrigâmetro na Propriedade A

Setembro 2012							
Leitura Antes		Irrigação		Leitura Depois			
Chuva	Tubo	Régua	Reposição	Tempo	Tubo	Régua	
Dia (mm)	(mm)	(cor/min.)	(mm)	(min.)	(mm)	(cor/min.)	
1	0	10	143	10	140	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	5	71	0	0	5	71
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	5.6	80	0	0	5.6	80
6	0	8.4	120	0	0	8.4	120
7	0	11	157	11	180	0	0
8	4	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	1.3	19	0	0	1.3	19
11	0	5.1	73	0	0	5.1	73
12	0	8.4	120	8.4	140	0	0
13	0	4.1	59	0	0	4.1	59
14	0	8.1	116	8.1	130	0	0
15	0.3	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	7.4	106	7.4	120	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	5.6	80	5.6	140	0	0
20	0	2.4	34	0	0	2.4	34
21	3.5	6.3	90	3.5	0	2.8	40
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	7	100	0	0	7	100
25	0	10.5	150	0	0	10.5	150
26	0	13.5	193	0	0	13.5	193
27	18.3	13.5	193	13.5	0	0	0
28	0	3.2	46	0	0	3.2	46
29	0	0	0	0	0	0	0
30	0	10	143	10	160	0	0

Outubro 2012							
Leitura Antes		Irrigação		Leitura Depois			
Chuva	Tubo	Régua	Reposição	Tempo	Tubo	Régua	
Dia (mm)	(mm)	(cor/min.)	(mm)	(min.)	(mm)	(cor/min.)	
1	0	3.8	54	0	0	3.8	54
2	0	5.6	80	0	0	5.6	80
3	0	6.9	99	0	0	6.9	99
4	0	7.3	104	7.3	140	0	0
5	0.7	3.2	46	0.7	0	2.5	36
6	0	2	29	0	0	2	29
7	0	4	57	0	0	4	57
8	0.3	5.7	81	0.3	0	5.4	77
9	2.7	7.7	110	2.7	0	5	71
10	4.5	5.2	74	4.5	0	0.7	10
11	0	8.4	120	0	0	8.4	120
12	0	13.1	187	0	0	13.1	187
13	0.5	14	200	14	215	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	4.7	67	0	0	4.7	67
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0
28	0	5.3	76	0	0	5.3	76
29	0	10.5	150	10.5	175	0	0
30	0	4	57	0	0	4	57
31	0	10.6	151	10.6	175	0	0

Novembro 2012							
Leitura Antes		Irrigação		Leitura Depois			
Chuva	Tubo	Régua	Reposição	Tempo	Tubo	Régua	
Dia (mm)	(mm)	(cor/min.)	(mm)	(min.)	(mm)	(cor/min.)	
1	2.8	9.1	130	2.8	115	6.3	90
2	5.1	4.7	67	4.7	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	5.2	3.2	46	3.2	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	3.4	49	0	0	3.4	49
8	0	7	100	7	0	0	0
9	43	0	0	0	0	0	0
10	41	0	0	0	0	0	0
11	7	0	0	0	0	0	0
12	5.2	0	0	0	0	0	0
13	0	4	57	0	0	4	57
14	3.7	4.5	64	3.7	0	0.8	11
15	5.5	1	14	1	0	0	0
16	21	0	0	0	0	0	0
17	22	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	2	4	57	2	0	2	29
20	0	3.9	56	0	0	3.9	56
21	0	5.1	73	0	0	5.1	73
22	0	6.6	94	0	0	6.6	94
23	0	9.5	136	0	0	9.5	136
24	21	10	143	10	0	0	0
25	105	0	0	0	0	0	0
26	22.2	0	0	0	0	0	0
27	23.1	0	0	0	0	0	0
28	11	0	0	0	0	0	0
29	0	2.7	39	0	0	2.7	39
30	1.3	1.3	19	1.3	0	0	0

Dezembro 2012							
Leitura Antes		Irrigação		Leitura Depois			
Chuva	Tubo	Régua	Reposição	Tempo	Tubo	Régua	
Dia (mm)	(mm)	(cor/min.)	(mm)	(min.)	(mm)	(cor/min.)	
1	22.9	2	29	2	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	1.5	3.8	54	1.5	0	2.3	33
4	0	3.9	56	0	0	3.9	56
5	0	9.3	133	0	0	9.3	133
6	0	15.2	217	15.2	240	0	0
7	0	5.7	81	0	0	5.7	81
8	0	8.9	127	0	0	8.9	127
9	0	9	129	0	0	9	129
10	11.2	11	157	11	0	0	0
11	0	1.7	24	0	0	1.7	24
12	0	4.2	60	0	0	4.2	60
13	0	9.8	140	0	0	9.8	140
14	0	14	200	14	225	0	0
15	0	3.5	50	0	0	3.5	50
16	0	8	114	0	0	8	114
17	0	14	200	14	225	0	0
18	0	5	71	0	0	5	71
19	5	8.4	120	5	0	3.4	49
20	2.1	6.2	89	2.1	0	4.1	59
21	0	5.1	73	0	0	5.1	73
22	0	8.3	119	0	0	8.3	119
23	0	9.8	140	0	0	9.8	140
24	0	17.2	246	17.2	270	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0
26	0	12.1	173	12.1	195	0	0
27	0	6	86	0	0	6	86
28	0	10.6	151	10.6	170	0	0
29	0	5.2	74	0	0	5.2	74
30	0	7	100	0	0	7	100
31	0	11.2	160	11.2	18	0	0

## APÊNDICE B – Dados de Operação do Irrigâmetro na Propriedade B

Setembro 2012							
Dia	Leitura Antes		Reposição (mm)	Tempo (min.)	Leitura Depois		
	Chuva (mm)	Tubo Régua (cor/min.)			Tubo Régua (cor/min.)		
	(mm)	(mm)			(mm)		
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	7.2	144	0	0	7.2	144
4	0	12.3	246	12.3	270	0	0
5	0	1.6	32	0	0	1.6	32
6	0	4.9	98	0	0	4.9	98
7	0	7.5	150	7.5	165	0	0
8	4	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	4.4	88	0	0	4.4	88
11	0	6.3	126	0	0	6.3	126
12	0	9.2	184	0	0	9.2	184
13	0	10.4	208	10.4	250	0	0
14	0	4.2	84	0	0	4.2	84
15	0.3	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	13.5	270	13.5	310	0	0
18	0	4	80	0	0	4	80
19	0	6.4	128	0	0	6.4	128
20	0	9.5	190	0	0	9.5	190
21	4.6	12.5	250	4.6	0	7.9	158
22	0	8	160	0	0	8	160
23	0	10	200	0	0	10	200
24	0	17	340	17	380	0	0
25	0	3	60	0	0	3	60
26	0	5	100	0	0	5	100
27	21	8	160	8	0	0	0
28	0	3.5	70	0	0	3.5	70
29	0	7	140	7	160	0	0
30	0	6	120	0	0	6	120

Outubro 2012							
Dia	Leitura Antes		Reposição (mm)	Tempo (min.)	Leitura Depois		
	Chuva (mm)	Tubo Régua (cor/min.)			Tubo Régua (cor/min.)		
	(mm)	(mm)			(mm)		
1	0	6.4	128	0	0	6.4	128
2	0	11.8	236	0	0	11.8	236
3	0	14.4	288	14.4	320	0	0
4	0	3.4	68	0	0	3.4	68
5	0.5	7.7	154	0.5	0	7.2	144
6	0	7.5	150	0	0	7.5	150
7	0	10	200	0	0	10	200
8	3.8	16.8	336	16.8	280	0	0
9	2.7	7.7	154	2.7	0	5	100
10	1.8	6.9	138	1.8	0	5.1	102
11	0	10.3	206	0	0	10.3	206
12	0	14.3	286	14.3	315	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	11.1	222	11.1	240	0	0
16	0	4.5	90	0	0	4.5	90
17	0	9	180	0	0	9	180
18	0	13	260	13	270	0	0
19	0	4	80	0	0	4	80
20	0	4	80	0	0	4	80
21	0	4.5	90	0	0	4.5	90
22	0	4.5	90	0	0	4.5	90
23	0	8.3	166	0	0	8.3	166
24	0	10	200	10	220	0	0
25	4.5	3.9	78	3.9	0	0	0
26	0	4.7	94	0	0	4.7	94
27	0	4.7	94	0	0	4.7	94
28	0	6	120	0	0	6	120
29	0	12.9	258	12.9	280	0	0
30	0	6	120	0	0	6	120
31	0	11.9	238	11.9	260	0	0

Novembro 2012							
Dia	Leitura Antes		Reposição (mm)	Tempo (min.)	Leitura Depois		
	Chuva (mm)	Tubo Régua (cor/min.)			Tubo Régua (cor/min.)		
	(mm)	(mm)			(mm)		
1	2.4	7.8	156	2.4	0	5.4	108
2	5.2	14.3	286	14.3	220	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	4.5	4.5	90	4.5	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	43	0	0	0	0	0	0
10	41	0	0	0	0	0	0
11	7	0	0	0	0	0	0
12	5.2	5	100	5	0	0	0
13	3.5	3.2	64	3.2	0	0	0
14	39	0.7	14	0.7	0	0	0
15	7.5	0	0	0	0	0	0
16	23	0	0	0	0	0	0
17	19	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0.8	3.3	66	0.8	0	2.5	50
20	0	6.5	130	0	0	6.5	130
21	0	8.1	162	0	0	8.1	162
22	0	9.5	190	0	0	9.5	190
23	0	11.1	222	0	250	11.1	222
24	21	0	0	0	0	0	0
25	105	0	0	0	0	0	0
26	22.2	0	0	0	0	0	0
27	23.1	0	0	0	0	0	0
28	11	0	0	0	0	0	0
29	0	2.5	50	0	0	2.5	50
30	6.5	2.3	46	2.3	0	0	0

Dezembro 2012							
Dia	Leitura Antes		Reposição (mm)	Tempo (min.)	Leitura Depois		
	Chuva (mm)	Tubo Régua (cor/min.)			Tubo Régua (cor/min.)		
	(mm)	(mm)			(mm)		
1	21.2	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	1.4	3.8	76	1.4	0	2.4	48
4	0	6.2	124	0	0	6.2	124
5	0	11.3	226	11.3	260	0	0
6	0	3.4	68	0	0	3.4	68
7	0	9.3	186	0	0	9.3	186
8	0	14.2	284	14.2	310	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	8.2	3.2	64	3.2	0	0	0
11	0	0.6	12	0	0	0.6	12
12	0	4	80	0	0	4	80
13	0	10	200	0	0	10	200
14	0	14	280	14	310	0	0
15	0	4	80	0	0	4	80
16	0	8.5	170	0	0	8.5	170
17	0	14.2	284	14.2	310	0	0
18	0	5.2	104	0	0	5.2	104
19	5	8.6	172	5	0	3.6	72
20	2.1	6.6	132	2.1	0	4.5	90
21	0	11.5	230	11.5	255	0	0
22	0	3.2	64	0	0	3.2	64
23	0	8	160	0	0	8	160
24	0	15.1	302	15.1	330	0	0
25	0	6	120	0	0	6	120
26	0	12.1	242	12.1	260	0	0
27	0	8	160	0	0	8	160
28	0	12.6	252	12.6	270	0	0
29	0	5.2	104	0	0	5.2	104
30	0	9	180	0	0	9	180
31	0	16.4	328	16.4	360	0	0



# APÊNDICE C – Dados de Operação do Irrigâmetro na Propriedade C

Setembro 2012							
Leitura Antes			Irrigação		Leitura Depois		
Chuva	Tubo	Régua	Reposição	Tempo	Tubo	Régua	
Dia (mm)	(mm)	(cor/min.)	(mm)	(min.)	(mm)	(cor/min.)	
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	13.6	82	0	0	13.6	82
4	0	14.6	88	14.6	100	0	0
5	0	2.2	13	0	0	2.2	13
6	0	5.6	34	0	0	5.6	34
7	5.5	6	36	5.5	0	0.5	3
8	0	1	6	0	0	1	6
9	0	3	18	0	0	3	18
10	0	6.7	40	0	0	6.7	40
11	0	9.4	56	0	0	9.4	56
12	0	12.4	74	0	0	12.4	74
13	0	15.4	92	15.4	102	0	0
14	0	4.3	26	0	0	4.3	26
15	0	6	36	0	0	6	36
16	0	8	48	0	0	8	48
17	0.3	11.3	68	0.3	0	11	66
18	0	12	72	0	0	12	72
19	0	15	90	15	100	0	0
20	0	5.3	32	0	0	5.3	32
21	3	8.3	50	3	0	5.3	32
22	0	6	36	0	0	6	36
23	0	7	42	0	0	7	42
24	0	8	48	0	0	8	48
25	0	10	60	0	0	10	60
26	0	13	78	13	87	0	0
27	23.5	3	18	3	0	0	0
28	0	2.4	14	0	0	2.4	14
29	0	4	24	0	0	4	24
30	0	6	36	0	0	6	36

Outubro 2012							
Leitura Antes			Irrigação		Leitura Depois		
Chuva	Tubo	Régua	Reposição	Tempo	Tubo	Régua	
Dia (mm)	(mm)	(cor/min.)	(mm)	(min.)	(mm)	(cor/min.)	
1	0	16.2	97	16.2	108	0	0
2	0	2.7	16	0	0	2.7	16
3	0	5.3	32	0	0	5.3	32
4	0	8.4	50	0	0	8.4	50
5	1.1	11.2	67	1.1	0	10.1	61
6	0	10.1	61	0	0	10.1	61
7	0	11	66	0	0	11	66
8	3.6	11.1	67	3.6	0	7.5	45
9	4.6	11.2	67	4.6	0	6.6	40
10	0	7.1	43	0	0	7.1	43
11	0	10.9	65	0	0	10.9	65
12	0	14.1	85	14.1	95	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0.5	10.2	61	0.5	0	9.7	58
16	0	10	60	0	0	10	60
17	0	10	60	0	0	10	60
18	0	10.5	63	0	0	10.5	63
19	0	11.5	69	0	0	11.5	69
20	0	15	90	15	100	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	0	5.2	31	0	0	5.2	31
23	0	10.2	61	0	0	10.2	61
24	0	14.2	85	14.2	95	0	0
25	0	6	36	0	0	6	36
26	0	8.3	50	0	0	8.3	50
27	0	15.1	91	0	0	15.1	91
28	0	16	96	0	0	16	96
29	0	22.9	137	22.9	150	0	0
30	0	4.5	27	0	0	4.5	27
31	0	11.4	68	0	0	11.4	68

Novembro 2012							
Leitura Antes			Irrigação		Leitura Depois		
Chuva	Tubo	Régua	Reposição	Tempo	Tubo	Régua	
Dia (mm)	(mm)	(cor/min.)	(mm)	(min.)	(mm)	(cor/min.)	
1	2.4	13.9	83	13.9	80	0	0
2	3.7	4.4	26	3.7	0	0.7	4
3	3	2	12	2	0	0	0
4	3.8	7	42	3.8	0	3.2	19
5	0.6	5.8	35	0.6	0	5.2	31
6	0	8	48	0	0	8	48
7	0	10.4	62	0	0	10.4	62
8	0	14.2	85	0	0	14.2	85
9	34	14.2	85	14.2	0	0	0
10	26	0	0	0	0	0	0
11	26	0	0	0	0	0	0
12	4	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	40	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	25	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	5.1	31	0	0	5.1	31
20	0	8.2	49	0	0	8.2	49
21	0	10.2	61	0	0	10.2	61
22	0	14.4	86	14.4	97	0	0
23	0	4.5	27	0	0	4.5	27
24	21	4.5	27	4.5	0	0	0
25	105	0	0	0	0	0	0
26	16	0	0	0	0	0	0
27	16.5	0	0	0	0	0	0
28	11.9	0	0	0	0	0	0
29	0	3.1	19	0	0	3.1	19
30	3.9	3.5	21	3.5	0	0	0

Dezembro 2012							
Leitura Antes			Irrigação		Leitura Depois		
Chuva	Tubo	Régua	Reposição	Tempo	Tubo	Régua	
Dia (mm)	(mm)	(cor/min.)	(mm)	(min.)	(mm)	(cor/min.)	
1	21.9	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	3	2.2	13	2.2	0	0	0
4	0	2.1	13	0	0	2.1	13
5	0	6.1	37	0	0	6.1	37
6	0	9.9	59	0	0	9.9	59
7	0	14.5	87	14.5	100	0	0
8	0	3.5	21	0	0	3.5	21
9	0	5	30	0	0	5	30
10	1.9	9	54	1.9	0	7.1	43
11	0	10.2	61	0	0	10.2	61
12	0	14.9	89	14.9	100	0	0
13	2	4	24	2	0	2	12
14	0	8	48	0	0	8	48
15	0	14	84	0	0	14	84
16	0	16	96	0	0	16	96
17	0	17	102	17	120	0	0
18	0	3.4	20	0	0	3.4	20
19	1.8	6.6	40	1.8	0	4.8	29
20	0.6	4.6	28	0.6	0	4	24
21	0	11.3	68	11.3	75	0	0
22	0	4.9	29	0	0	4.9	29
23	0	8	48	0	0	8	48
24	0	14.2	85	14.2	95	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0
26	0	11.4	68	0	0	11.4	68
27	0	17.7	106	17.7	120	0	0
28	0	6.1	37	0	0	6.1	37
29	0	12.8	77	12.8	75	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0
31	0	11.6	70	0	0	11.6	70

# APÊNDICE D – Dados de Operação do Irrigâmetro na Propriedade D

Setembro 2012							
Dia	Leitura Antes		Reposição	Irrigação		Leitura Depois	
	Chuva (mm)	Tubo (mm)		Tempo (min.)	Tubo (mm)	Régua (cor/min.)	Régua (cor/min.)
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	10	150	10	180	0	0
4	0	0.9	14	0	0	0.9	14
5	0	3.6	54	0	0	3.6	54
6	0	7	105	0	0	7	105
7	0	11	165	11	210	0	0
8	5.5	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	1.3	20	0	0	1.3	20
11	0	6.3	95	0	0	6.3	95
12	0	9.8	147	9.8	180	0	0
13	0	2	30	0	0	2	30
14	0	5.1	77	0	0	5.1	77
15	0.3	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	6.1	92	0	0	6.1	92
18	0	8	120	0	0	8	120
19	0	11	165	11	185	0	0
20	0	2	30	0	0	2	30
21	2.8	2.8	42	0	0	2.8	42
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	4	60	0	0	4	60
25	0	6.5	98	0	0	6.5	98
26	0	8.3	125	0	0	8.3	125
27	22	10	150	10	0	0	0
28	0	1.3	20	0	0	1.3	20
29	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0

Outubro 2012							
Dia	Leitura Antes		Reposição	Irrigação		Leitura Depois	
	Chuva (mm)	Tubo (mm)		Tempo (min.)	Tubo (mm)	Régua (cor/min.)	Régua (cor/min.)
1	0	1.9	29	0	0	1.9	29
2	0	4.2	63	0	0	4.2	63
3	0	7.3	110	0	0	7.3	110
4	0	9	135	9	155	0	0
5	0	3.3	50	0	0	3.3	50
6	0	4	60	0	0	4	60
7	0	5	75	0	0	5	75
8	0	7.1	107	0	0	7.1	107
9	4.9	11.2	168	4.9	0	6.3	95
10	0	7.1	107	0	0	7.1	107
11	0	8.1	122	0	0	8.1	122
12	0	9.7	146	0	0	9.7	146
13	2	11.7	176	11.7	150	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	6.7	101	0	0	6.7	101
16	0	13	195	13	220	0	0
17	0	4	60	0	0	4	60
18	0	5.5	83	0	0	5.5	83
19	0	9	135	9	150	0	0
20	0	3	45	0	0	3	45
21	0	6	90	0	0	6	90
22	0.2	7.2	108	0	0	7.2	108
23	0	12.6	189	0	0	12.6	189
24	0	16.6	249	16.6	240	0	0
25	0	5.3	80	0	0	5.3	80
26	0	8.6	129	8.6	150	0	0
27	0	4	60	0	0	4	60
28	0	8.5	128	8.5	150	0	0
29	0	3	45	0	0	3	45
30	0	7.5	113	0	0	7.5	113
31	0	10.9	164	10.9	195	0	0

Novembro 2012							
Dia	Leitura Antes		Reposição	Irrigação		Leitura Depois	
	Chuva (mm)	Tubo (mm)		Tempo (min.)	Tubo (mm)	Régua (cor/min.)	Régua (cor/min.)
1	3.7	8.1	122	3.7	0	4.4	66
2	4.1	10.8	162	4.1	0	6.7	101
3	0	7	105	0	0	7	105
4	3.8	7	105	3.8	0	3.2	48
5	0.6	4	60	0.6	0	3.4	51
6	0	4.4	66	0	0	4.4	66
7	0	6.1	92	0	0	6.1	92
8	0	10.2	153	0	0	10.2	153
9	3.4	10.2	153	3.4	0	6.8	102
10	2.6	7	105	2.6	0	4.4	66
11	2.6	5	75	2.6	0	2.4	36
12	0	3	45	0	0	3	45
13	3	3	45	3	0	0	0
14	39	3.5	53	3.5	0	0	0
15	0.5	1.2	18	0.5	0	0.7	11
16	23	2.2	33	2.2	0	0	0
17	29.5	1.5	23	1.5	0	0	0
18	3	0	0	0	0	0	0
19	0	4.9	74	0	0	4.9	74
20	0	8.4	126	0	0	8.4	126
21	0	9.8	147	0	0	9.8	147
22	0	14.2	213	14.2	240	0	0
23	0	3.5	53	0	0	3.5	53
24	21	5	75	5	0	0	0
25	105	0	0	0	0	0	0
26	16	0	0	0	0	0	0
27	16.5	0	0	0	0	0	0
28	11.3	0	0	0	0	0	0
29	11.3	9.7	146	9.7	0	0	0
30	2.7	0.7	11	0.7	0	0	0

Dezembro 2012							
Dia	Leitura Antes		Reposição	Irrigação		Leitura Depois	
	Chuva (mm)	Tubo (mm)		Tempo (min.)	Tubo (mm)	Régua (cor/min.)	Régua (cor/min.)
1	21.9	1.9	29	1.9	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	4.5	7.2	108	4.5	0	2.7	41
4	0	7.8	117	7.8	140	0	0
5	0	1.2	18	0	0	1.2	18
6	0	7.1	107	0	0	7.1	107
7	0	13.5	203	13.5	230	0	0
8	0	1.9	29	0	0	1.9	29
9	0	1.9	29	0	0	1.9	29
10	1.9	10.1	152	1.9	0	8.2	123
11	0	11.5	173	0	0	11.5	173
12	18	18	270	18	360	0	0
13	0	4.5	68	0	0	4.5	68
14	0	7.5	113	7.5	130	0	0
15	0	3	45	0	0	3	45
16	8	8	120	8	135	0	0
17	0	4.4	66	0	0	4.4	66
18	0	10.1	152	0	0	10.1	152
19	1.8	14.9	224	14.9	255	0	0
20	0.8	4.2	63	0.8	0	3.4	51
21	0	11.1	167	11.1	195	0	0
22	0	4.4	66	0	0	4.4	66
23	0	4.4	66	0	0	4.4	66
24	0	7.2	108	0	0	7.2	108
25	0	7.2	108	0	0	7.2	108
26	0	10.2	153	10.2	165	0	0
27	0	4.7	71	0	0	4.7	71
28	0	9.9	149	9.9	160	0	0
29	0	5.5	83	0	0	5.5	83
30	0	11.5	173	11.5	190	0	0
31	0	6	90	0	0	6	90

## APÊNDICE E – Dados de Operação do Irrigâmetro na Propriedade E



Setembro 2012							
Leitura Antes			Irrigação		Leitura Depois		
Chuva	Tubo	Régua	Reposição	Tempo	Tubo	Régua	
Dia (mm)	(mm)	(cor/min.)	(mm)	(min.)	(mm)	(cor/min.)	
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	11.3	357	11.3	390	0	0
4	0	3.7	117	0	0	3.7	117
5	0	5.5	174	0	0	5.5	174
6	0	9.2	291	9.2	360	0	0
7	0	1.1	35	0	0	1.1	35
8	6	3	95	3	0	0	0
9	0	1.1	35	0	0	1.1	35
10	0	3.9	123	0	0	3.9	123
11	0	8.9	281	8.9	315	0	0
12	0	2.4	76	0	0	2.4	76
13	0	3.3	104	0	0	3.3	104
14	0	8.4	265	0	0	8.4	265
15	0.3	9.2	291	9.2	360	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	1	32	0	0	1	32
18	0	3	95	0	0	3	95
19	0	9.2	291	9.2	330	0	0
20	0	4.5	142	0	0	4.5	142
21	2.5	7.8	246	2.5	0	5.3	167
22	0	6	189	0	0	6	189
23	0	6.5	205	0	0	6.5	205
24	0	7	221	0	0	7	221
25	0	9.2	291	0	0	9.2	291
26	0	11.3	357	11.3	390	0	0
27	0	3	95	0	0	3	95
28	23.5	5.4	171	5.4	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0

Outubro 2012							
Leitura Antes			Irrigação		Leitura Depois		
Chuva	Tubo	Régua	Reposição	Tempo	Tubo	Régua	
Dia (mm)	(mm)	(cor/min.)	(mm)	(min.)	(mm)	(cor/min.)	
1	0	8.4	265	0	0	8.4	265
2	0	11.6	366	0	0	11.6	366
3	0	12.5	395	12.5	435	0	0
4	0	1.7	54	0	0	1.7	54
5	0	9.1	287	0	0	9.1	287
6	0	11.5	363	11.5	420	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	5.4	171	0	0	5.4	171
9	8	8	253	8	0	0	0
10	0	0.4	13	0	0	0.4	13
11	0	5.1	161	0	0	5.1	161
12	0	9	284	0	0	9	284
13	0	11.5	363	11.5	420	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	5.8	183	0	0	5.8	183
16	0	9.9	313	9.9	375	0	0
17	0	1.2	38	0	0	1.2	38
18	0	2.5	79	0	0	2.5	79
19	0	5.5	174	0	0	5.5	174
20	0	9.5	300	0	0	9.5	300
21	0	11	347	11	405	0	0
22	0	2.1	66	0	0	2.1	66
23	0	9.2	291	0	0	9.2	291
24	0	11.5	363	11.5	420	0	0
25	0	4.7	148	0	0	4.7	148
26	0	7.2	227	0	0	7.2	227
27	0	11.3	357	11.3	390	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0
29	0	4.3	136	0	0	4.3	136
30	0	10.5	332	10.5	410	0	0
31	0	4	126	0	0	4	126

Novembro 2012							
Leitura Antes			Irrigação		Leitura Depois		
Chuva	Tubo	Régua	Reposição	Tempo	Tubo	Régua	
Dia (mm)	(mm)	(cor/min.)	(mm)	(min.)	(mm)	(cor/min.)	
1	2.8	7.3	231	2.8	0	4.5	142
2	3.8	7.7	243	3.8	0	3.9	123
3	0	5	158	0	0	5	158
4	3.8	7	221	3.8	0	3.2	101
5	0.6	5	158	0.6	0	4.4	139
6	0	7.1	224	0	0	7.1	224
7	0	10.6	335	10.6	360	0	0
8	34	4	126	4	0	0	0
9	26	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
11	26	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	2.5	0.2	6	0.2	0	0	0
14	39	0	0	0	0	0	0
15	4.5	0	0	0	0	0	0
16	39.3	0	0	0	0	0	0
17	2.7	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	4	126	0	0	4	126
20	0	7.2	227	0	0	7.2	227
21	0	10	316	0	0	10	316
22	0	12.4	392	12.4	435	0	0
23	0	3.4	107	0	0	3.4	107
24	21	0	0	0	0	0	0
25	105	0	0	0	0	0	0
26	16	0	0	0	0	0	0
27	16.5	0	0	0	0	0	0
28	11.9	0	0	0	0	0	0
29	0	1.3	41	0	0	1.3	41
30	2.7	4.3	136	2.7	0	1.6	51

Dezembro 2012							
Leitura Antes			Irrigação		Leitura Depois		
Chuva	Tubo	Régua	Reposição	Tempo	Tubo	Régua	
Dia (mm)	(mm)	(cor/min.)	(mm)	(min.)	(mm)	(cor/min.)	
1	0	6	189	0	0	6	189
2	0	10	316	0	0	10	316
3	0	14.9	471	14.9	540	0	0
4	0	4.1	129	0	0	4.1	129
5	0	7.6	240	0	0	7.6	240
6	0	8	253	0	0	8	253
7	0	9	284	0	0	9	284
8	1.9	9.1	287	9.1	330	0	0
9	0	0.1	3	0	0	0.1	3
10	2.5	4	126	2.5	0	1.5	47
11	0	4.5	142	0	0	4.5	142
12	0	7.5	237	0	0	7.5	237
13	0	3	95	0	0	3	95
14	0	8	253	0	0	8	253
15	0	14.7	464	14.7	480	0	0
16	0	4.3	136	0	0	4.3	136
17	1.8	8	253	1.8	0	6.2	196
18	0.7	8.8	278	0.7	0	8.1	256
19	0	8.5	268	8.5	270	0	0
20	0	4.4	139	0	0	4.4	139
21	0	8	253	0	0	8	253
22	0	16.6	524	16.6	570	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	9	284	9	330	0	0
25	0	6.1	193	0	0	6.1	193
26	0	12.5	395	12.5	450	0	0
27	0	5.4	171	0	0	5.4	171
28	0	8	253	0	0	8	253
29	0	16.6	524	16.6	585	0	0
30	0	10	316	10	160	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0

# APÊNDICE F – Análise de Especialistas em Outorga e Outorga Coletiva

 <div> <p><b>Análise de Especialistas</b></p> <p>Projeto: Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão para Alocação de Água na Agricultura Irrigada em Nível de Microbacia Hidrográfica</p> </div> 		
<b>ANÁLISE DE ESPECIALISTAS EM OUTORGA E OUTORGA COLETIVA</b>		
<b>Data</b>	24/02/2014 (LabGest) 27/02/2014 (IEMA, Sede)	
<b>Hora</b>	11:00 – 11:30 (LabGest) 09:00 – 12:00 (IEMA, Sede)	
<b>Local</b>	LabGest (24/02/2014) IEMA, Sede, Auditório (27/02/2014)	
<b>Apresentador</b>	Paulo Eduardo Marques	
<b>Coordenador</b>	Edmilson Costa Teixeira	
<b>Participantes</b>		
<b>Nome</b>	<b>Instituição</b>	<b>Assinatura</b>
Jesana Fonseca Soares	IEMA	
Lydiane Libardi Lorencini	IEMA	
Silvia Batista Soares	IEMA	
Rodrigo A. Guimarães	IEMA	
Paulo Sérgio de Assis	IEMA	
Eduardo Loyola Dias	IEMA	
Giovane Sartori	IEMA	
Júlio Demuner Ferreira	IEMA	
Antônio de Oliveira Junior	IEMA	
Pedro Ramos	IEMA	
Luiz Henrique Bof	IEMA	
Robson Monteiro dos Santos	IEMA	
<p><b>1. Apresentação do Projeto</b></p> <p>O projeto tem como objetivo contribuir para o aperfeiçoamento da autogestão comunitária de recursos hídricos por microbacia, através do uso coordenado e integrado de irrigâmetros e um sistema de apoio à decisão para alocação de água de forma justa, participativa e consensual entre os usuários, pequenos produtores rurais de base agrícola familiar.</p> <p>Durante a apresentação do projeto serão abordados os tópicos a seguir.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cenários de utilização da água contemplados no sistema;</li> <li>2. Componentes e arquitetura do sistema;</li> <li>3. Modelagem matemática do problema de otimização;</li> <li>4. Irrigâmetro como fonte de informação das demandas hídricas das culturas;</li> <li>5. Influência da previsão meteorológica na definição das prioridades de irrigação;</li> <li>6. Gestão das agendas de outorga, irrigação e captação;</li> <li>7. Fluxo de operação diário do sistema;</li> <li>8. Ciclos de testes previstos para avaliação de resultados;</li> <li>9. Benefícios da utilização do sistema.</li> </ol>		
Paulo Eduardo Marques		



Foram realizadas duas apresentações:

1. Primeira apresentação, exclusiva para o Robson, diretor de Recursos Hídricos do IEMA, com o objetivo de resumir as intenções do projeto e expor os pontos de discussão ainda necessários com os órgãos gestores. Através desta conversa inicial foi possível agendar uma apresentação para a equipe de Outorga e Outorga Coletiva do IEMA na mesma semana.
2. Segunda apresentação, realizada para toda a equipe de analistas de outorgas e outorgas coletivas do IEMA, no auditório do IEMA, onde foi possível apresentar em detalhes os requisitos técnicos do sistema e discutir sobre os pontos de dúvidas ainda pendentes relacionados às análises e gestão das outorgas coletivas.

## 2. Discussões Gerais

Abaixo, são apresentados pontos gerais relacionados aos tópicos apresentados.

1. Os cenários de utilização da água contemplados são suficientes para uma avaliação inicial do sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas para tornar os cenários ainda mais próximos do real? Justifique.  
 Para uma avaliação inicial sim, mas concordam que o ideal é se chegar no cenário real apresentado, com barragens, lançamentos, etc.
2. Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas em termos de arquitetura do sistema? Justifique.  
 Utilizar outras fontes de demandas hídricas além do irrigâmetro.
3. A modelagem matemática do problema de otimização está completa? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.  
 Não foram feitos comentários sobre a modelagem matemática.
4. A utilização das agendas de outorga, irrigação e captação são factíveis em um ambiente real de operação do sistema? A funcionalidade de gestão das agendas é importante para o sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.  
 Concordaram que as agendas não são necessárias para o cenário de operação do sistema. A imposição das agendas por dias da semana e tipos de cultura poderiam restringir as opções de alocação de água do sistema e impedir que uma melhor solução de alocação de água fosse adotada.  
 Comentaram que as restrições de agendas utilizadas pelos TACs ocorrem pois não possuem outros métodos melhores de distribuir o uso da água ao longo do tempo. O que seria desnecessário no caso do sistema.  
 Todos concordaram que a utilização de agenda de usuários para os casos de cadastro no relógio verde seria muito interessante, pois os produtores cadastrados nestas iniciativas só autorizariam a irrigação no período noturno, em que o custo da energia é até 70% menor.
5. O fluxo de operação diário é factível em um ambiente real de operação do sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.





Preocupação com relação à infraestrutura de *internet* e computacional dos usuários. Pensar em formas de centralizar as entradas no sistema com a diminuição dos usuários com acessos. Definir responsáveis para as principais atividades envolvendo o sistema.

6. O sistema auxiliaria o acompanhamento do uso da água pelos órgãos gestores e sociedade? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas para garantir a sua utilização pelos órgãos gestores e sociedade? Justifique.

Gostaram muito do sistema como apoio à gestão. Gostariam de colocar um piloto em funcionamento para verificar a reação da comunidade e do órgão com relação a ele. A expectativa é muito boa.

7. Qual a visão de futuro para este sistema (aplicabilidade, preocupações, deficiências, benefícios)? Quais novas funcionalidades poderiam/deveriam ser consideradas em versões posteriores? Justifique.

A automação é um ponto a ser verificado, pois poderia aumentar os custos. Comentaram sobre possibilidades futuras:

- Utilização do sistema para indicar melhores culturas em determinada região;
- Avaliação de impacto de novas captações, culturas, usuários;
- Base de pesquisa comportamental das culturas, propriedades, sazonalidade, sistema de irrigação. Busca pela melhor configuração;
- A automação poderia trazer benefício na operação, como desligar o sistema em caso de detecção de chuvas.

8. O escopo dos ciclos de teste é suficiente para uma avaliação inicial do sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.

Não foram feitos comentários sobre os cenários de testes adotados.

### 3. Discussões Específicas

Abaixo, são apresentados pontos específicos da área especialista relacionados aos tópicos apresentados.

1. As outorgas coletivas devem ser aplicadas com base em uma vazão fixa outorgada ou em uma vazão de permanência a ser garantida no curso d'água?

O mais usual é a definição de uma vazão residual na foz da microbacia. O IEMA exige que pelo menos 50% da Q90 seja mantido no curso d'água.

Porém, como na grande maioria das áreas outorgadas não existem registros históricos das vazões, não é possível estimar a Q90 do curso d'água, o que dificulta muito o estabelecimento de regras baseadas em vazões de referência. Foi comentado que o sistema poderia auxiliar muito nesta determinação de vazão de restrição, já que o uso do próprio sistema irá dizer se a vazão residual inicialmente adotada é mais ou menos restritiva para região, período, culturas, etc.

2. As restrições relacionadas às vazões outorgadas devem ser aplicadas de forma global para toda a microbacia ou segmentadas ao longo da rede hidrográfica? O monitoramento seria realizado apenas na foz ou em vários pontos de controle ao longo da rede hidrográfica?



# Análise de Especialistas

Projeto: Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão para Alocação de Água na Agricultura Irrigada em Nível de Microbacia Hidrográfica



Para o IEMA, o mais importante seria acompanhar a vazão residual na foz da microbacia, ou seja, bastaria um ponto de controle na foz. Porém, o IEMA também comentou ser importante garantir que ao longo da rede hidrográfica não tenha pontos de escassez e que o ideal seria que os 50% da Q90 fosse mantida ao longo de toda a rede.

Sugeriram que o melhor seria o órgão gestor participar da escolha dos pontos de controle junto com a comunidade, assim como a definição das restrições por vazão nestes pontos e o acompanhamento ao longo do tempo, depois, ficaria apenas com a comunidade. O IEMA poderia utilizar estas informações, no futuro, apenas caso fosse necessário aplicar penalidades a determinados usuários a pedidos da comunidade, por exemplo. Comentaram ser importante ter informações com esta finalidade, pois o IEMA ainda seria responsável por tais punições.

Também é muito importante a implantação de pontos de controle em nascentes e após barramentos. Foi comentado alguns casos de bacias muitos barramentos, barragens seguidas de barragens e a água praticamente não passa a não ser que esteja vertendo, impactando muito os consumos a jusante.

3. As restrições de vazões podem/devem ser passíveis de alterações ao longo do tempo? Devido à sazonalidade ou análise histórica das operações?

Sim, inclusive como forma de refinamento do sistema. A observância dos dados coletados pelo sistema poderá ajudar nas regras de vazão adotadas pela outorga.

4. As prioridades e demais parâmetros de reservatórios (volumes mínimos e máximos) podem/devem ser passíveis de alterações ao longo do tempo? Devido à sazonalidade ou análise histórica das operações?

Sim.

## Outros pontos:

- Foi comentado que o sistema não pode deixar de perder o controle por usuário. O sistema e os órgãos precisam de controle por usuários principalmente para fins de penalidade.
- Foi sugerida a captação de recursos do FUNDAGUA para um projeto piloto envolvendo o sistema. Comentaram que há bastante recurso no fundo para iniciativas deste tipo.
- Robson comentou que não usam nada de previsão de tempo para gestão das outorgas.
- Robson comentou que as agendas podem ser interessantes, como uma forma de diminuir os esforços de cálculo do sistema.

## APÊNDICE G – Análise de Especialistas em Manejo de Irrigação



### Análise de Especialistas

Projeto: Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão para  
Alocação de Água na Agricultura Irrigada em Nível de Microbacia  
Hidrográfica



### ANÁLISE DE ESPECIALISTAS EM MANEJO DE IRRIGAÇÃO

Data	21/02/2014	
Hora	16:00 – 18:30	
Local	Sede do Incaper, Itarana/ES	
Apresentador	Paulo Eduardo Marques	
Coordenador	Edmilson Costa Teixeira	
Participantes		
Nome	Instituição	Assinatura
Jean Carlos Daré	Incaper	
José Geraldo Ferreira da Silva	Incaper	

#### 1. Apresentação do Projeto

O projeto tem como objetivo contribuir para o aperfeiçoamento da autogestão comunitária de recursos hídricos por microbacia, através do uso coordenado e integrado de irrigâmetros e um sistema de apoio à decisão para alocação de água de forma justa, participativa e consensual entre os usuários, pequenos produtores rurais de base agrícola familiar.

Durante a apresentação do projeto serão abordados os tópicos a seguir.

1. Cenários de utilização da água contemplados no sistema;
2. Componentes e arquitetura do sistema;
3. Modelagem matemática do problema de otimização;
4. Irrigâmetro como fonte de informação das demandas hídricas das culturas;
5. Influência da previsão meteorológica na definição das prioridades de irrigação;
6. Gestão das agendas de outorga, irrigação e captação;
7. Fluxo de operação diário do sistema;
8. Ciclos de testes previstos para avaliação de resultados;
9. Benefícios da utilização do sistema;

#### 2. Discussões Gerais

Abaixo, são apresentados pontos gerais relacionados aos tópicos apresentados.

1. Os cenários de utilização da água contemplados são suficientes para uma avaliação inicial do sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas para tornar os cenários ainda mais próximos do real? Justifique.
2. Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas em termos de arquitetura do sistema? Justifique.
3. A modelagem matemática do problema de otimização está completa? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.

Paulo Eduardo Marques





4. A utilização das agendas de outorga, irrigação e captação são factíveis em um ambiente real de operação do sistema? A funcionalidade de gestão das agendas é importante para o sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.
5. O fluxo de operação diário é factível em um ambiente real de operação do sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.
6. O sistema auxiliaria o acompanhamento do uso da água pelos órgãos gestores e sociedade? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas para garantir a sua utilização pelos órgãos gestores e sociedade? Justifique.
7. Qual a visão de futuro para este sistema (aplicabilidade, preocupações, deficiências, benefícios)? Quais novas funcionalidades poderiam/deveriam ser consideradas em versões posteriores? Justifique.
8. O escopo dos ciclos de teste é suficiente para uma avaliação inicial do sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.

### 3. Discussões Específicas

Abaixo, são apresentados pontos específicos da área especialista relacionados aos tópicos apresentados.

1. A forma como as prioridades estão sendo atribuídas às réguas do irrigâmetro é factível em um ambiente real de operação do sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas para tornar o cálculo das prioridades ainda mais próximos do real? Justifique.  
**Jean: Pensar se as mesmas prioridades poderiam ser utilizadas caso não fosse aplicado o irrigâmetro.**
2. A utilização de irrigâmetros compartilhados por mais de uma cultura é factível em um ambiente real de operação do sistema? Quais as vantagens e desvantagens desta estratégia?  
**Jean: Sim.**  
**José Geraldo: Um problema seria a logística de operação. Todo dia o responsável deveria percorrer todos os irrigâmetros. Necessidade de pensar melhor nesta logística.**
3. Além do irrigâmetro, que outros instrumentos/técnicas poderiam ser utilizados para monitoramento das prioridades de irrigação de cada cultura?  
**Jean: Sistematizar os cálculos do irrigâmetro no sistema, com dados de evapotranspiração local. Considerando que o solo, vento, radiação, etc. são muito parecidos em toda a região hidrográfica. Utilizar estações de monitoramento para toda a microbacia.**
4. Qual o período do ciclo de operação seria factível em um ambiente real de operação do sistema (dia, 12 hs, 6 hs)?  
**Jean: Diário parece melhor.**  
**José Geraldo: Diário parece melhor.**
5. Qual o degrau horário de operação seria factível em um ambiente real de operação do sistema (1 h, 30 min, 15 min)?  
**Jean: Uma hora não seria muito para um cenário manual. No automatizado sim.**  
**José Geraldo: Uma hora não seria muito para um cenário manual. No automatizado sim.**

**Análise de Especialistas**



**Projeto:** Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão para Alocação de Água na Agricultura Irrigada em Nível de Microbacia Hidrográfica

**Outros pontos:**

**José Geraldo:** Comentou bastante sobre a tarifa verde e desconto na energia.

Também comentou que o produtor, no modo automático deveria autorizar, mesmo via sistema, que a operação do seu sistema de irrigação será automática. Pois poderia haver perdas financeiras para os usuários em caso de falhas.

## APÊNDICE H – Análise de Especialistas em Meteorologia

	<b>Análise de Especialistas</b> Projeto: Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão para Alocação de Água na Agricultura Irrigada em Nível de Microbacia Hidrográfica	
<b>ANÁLISE DE ESPECIALISTAS EM METEOROLOGIA</b>		
Data	26/02/2014	
Hora	10:30 – 12:00	
Local	Incaper, Vitória/ES	
Apresentador	Paulo Eduardo Marques	
Coordenador	Edmilson Costa Teixeira	
Participantes		
Nome	Instituição	Assinatura
José Geraldo Ferreira da Silva	Incaper	
Bruce Francisco Pontes da Silva	Incaper	
Hugo Ely dos Anjos Ramos	Incaper	

**1. Apresentação do Projeto**

O projeto tem como objetivo contribuir para o aperfeiçoamento da autogestão comunitária de recursos hídricos por microbacia, através do uso coordenado e integrado de irrigâmetros e um sistema de apoio à decisão para alocação de água de forma justa, participativa e consensual entre os usuários, pequenos produtores rurais de base agrícola familiar.

Durante a apresentação do projeto serão abordados os tópicos a seguir.

1. Cenários de utilização da água contemplados no sistema;
2. Componentes e arquitetura do sistema;
3. Modelagem matemática do problema de otimização;
4. Irrigâmetro como fonte de informação das demandas hídricas das culturas;
5. Influência da previsão meteorológica na definição das prioridades de irrigação;
6. Gestão das agendas de outorga, irrigação e captação;
7. Fluxo de operação diário do sistema;
8. Ciclos de testes previstos para avaliação de resultados;
9. Benefícios da utilização do sistema;

**2. Discussões Gerais**

Abaixo, são apresentados pontos gerais relacionados aos tópicos apresentados.

1. Os cenários de utilização da água contemplados são suficientes para uma avaliação inicial do sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas para tornar os cenários ainda mais próximos do real? Justifique.  
 Evitar o uso de irrigâmetro, pois sairia muito caro para os produtores. Comentado que deveria ser uma iniciativa da bacia, pois os ganhos não estão sendo pensados para o produtor. A bacia deve decidir se vale a pena o investimento.

Paulo Eduardo Marques



### Análise de Especialistas

Projeto: Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão para Alocação de Água na Agricultura Irrigada em Nível de Microbacia Hidrográfica



2. Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas em termos de arquitetura do sistema? Justifique.  
**A automação pode ser facilmente implementada nos fluviômetros e meteorologia, mas o custo de automação de irrigômetros poderia ser alto.**  
**Deve-se considerar que de tempos em tempos os irrigômetros devem sofrer manutenções, eficiências de irrigação ajustadas, nova análise de solo, etc. O sistema deveria avisar a necessidade destas manutenções, já que estará em contato com os usuários e responsáveis técnicos.**
3. A modelagem matemática do problema de otimização está completa? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.  
**Pouco se comentou sobre os detalhes da modelagem.**
4. A utilização das agendas de outorga, irrigação e captação são factíveis em um ambiente real de operação do sistema? A funcionalidade de gestão das agendas é importante para o sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.  
**Torna-se importante principalmente no caso do Relógio Verde, para evitar consumos desnecessários de energia.**
5. O fluxo de operação diário é factível em um ambiente real de operação do sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.  
**Sim. No caso de operação automática, o sistema poderia, por exemplo, interromper a irrigação em caso de início de chuva que se mantenha por um tempo. E ainda utilizando dados de radar, poderia confirmar volume de água ainda a cair e cancelar as irrigações. Depois do término da chuva o sistema poderia refazer os cálculos ou aguardar o próximo ciclo.**
6. O sistema auxiliaria o acompanhamento do uso da água pelos órgãos gestores e sociedade? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas para garantir a sua utilização pelos órgãos gestores e sociedade? Justifique.  
**Ajudaria muito, inclusive no acompanhamento das previsões.**
7. Qual a visão de futuro para este sistema (aplicabilidade, preocupações, deficiências, benefícios)? Quais novas funcionalidades poderiam/deveriam ser consideradas em versões posteriores? Justifique.  
**Algumas funcionalidades já comentadas em respostas anteriores e posteriores. Preocupação muito grande com custo de se implantar o sistema e com o custo de logística para entrada de dados caso o sistema não esteja totalmente automático. Mas também foi comentado que o custo com a automação e telemetria é compensado ao longo do tempo.**
8. O escopo dos ciclos de teste é suficiente para uma avaliação inicial do sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.  
**Não se comentou muito sobre isso.**

### 3. Discussões Específicas

Abaixo, são apresentados pontos específicos da área especialista relacionados aos tópicos apresentados.



## Análise de Especialistas

Projeto: Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão para  
Alocação de Água na Agricultura Irrigada em Nível de Microbacia  
Hidrográfica



1. Quais informações de previsão meteorológica poderiam/deveriam ser consideradas no sistema? Justifique.

Comentaram que a probabilidade associada à previsão é meramente ilustrativa e informa apenas a porcentagem de chover e não de chover “x” mm. Os mm da previsão também são muito difíceis de acertar. Normalmente se acerta a previsão de chover ou não, mas não os mm, principalmente no caso do ES onde as coisas são muito mais difíceis pela sua condição climática.

Uma opção seria manter uma classificação dos dados de chuva, como pouco significativa, moderada, fraca, etc. E em função desta previsão, irrigar ou não.

Também comentaram que atualmente existe um modelo para cálculo da tendência de chuvas para os próximos 15 dias. Atualmente ele é calculado para quatro ou cinco dias mas projetos como este poderiam justificar a adaptação e evolução do modelo para maior tempo. Ou seja, teríamos a informação de tendência de chuva para os próximos três ou quatro dias.

Também comentaram sobre a utilização de radar para previsões de chuva em curtos intervalos, podendo, por exemplo, confirmar que uma chuva recém-iniciada irá durar por mais duas ou três horas e confirmar um volume de chuva para as próximas horas, podendo ser muito útil em cenários onde esta informação está automatizada.

2. Quais informações de previsão meteorológica estão disponíveis atualmente? Quais as suas fontes/origens?

As informações de probabilidade e mm diários estão disponíveis em arquivos que podem ser associados e interpolados por coordenadas ao local de aplicação ou município. Por exemplo, na microbacia do Sossego seria possível relacionar com as coordenadas para Itarana/ES. A interpolação não seria por sub-bacia ou microbacia, e sim por município. As fontes atuais são CPTEC e INPE.

3. Qual a qualidade/confiabilidade das informações de previsão meteorológica disponíveis atualmente?

São baixas, principalmente para o ES, mas poderiam ser utilizadas desde que não afetassem cenários críticos para a planta. Por exemplo, evitar o uso para faixas vermelhas do irrigâmetro.



4. O ajuste das prioridades de irrigação observando a previsão meteorológica é factível em um ambiente real de operação do sistema? Este ajuste poderia ser calibrado com o uso do sistema?

É um tipo de ajuste bem complicado. Utilizar uma probabilidade calculada é muito complicada, pois depende de outros fatores além do histórico do sistema como sazonalidade, eventos especiais como “El niño”, etc. Exigência de um histórico de 10 anos, pelo menos, para um bom índice de acerto.

Talvez o mais interessante fosse utilizar a tendência de precipitação de dias anteriores para comparar com a do dia corrente.



## APÊNDICE I – Análise de Especialistas com Atuação Local

	<b>Análise de Especialistas</b> Projeto: Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão para Alocação de Água na Agricultura Irrigada em Nível de Microbacia Hidrográfica	
<b>ANÁLISE DE ESPECIALISTAS COM ATUAÇÃO LOCAL (PROJETO SOSSEGO)</b>		
Data	21/02/2014	
Hora	16:00 – 17:30	
Local	Incaper, Itarana/ES	
Apresentador	Paulo Eduardo Marques	
Coordenador	Edmilson Costa Teixeira	
<b>Participantes</b>		
Nome	Instituição	Assinatura
Jean Carlos Daré	Incaper	

**1. Apresentação do Projeto**

O projeto tem como objetivo contribuir para o aperfeiçoamento da autogestão comunitária de recursos hídricos por microbacia, através do uso coordenado e integrado de irrigâmetros e um sistema de apoio à decisão para alocação de água de forma justa, participativa e consensual entre os usuários, pequenos produtores rurais de base agrícola familiar.

Durante a apresentação do projeto serão abordados os tópicos a seguir.

1. Cenários de utilização da água contemplados no sistema;
2. Componentes e arquitetura do sistema;
3. Modelagem matemática do problema de otimização;
4. Irrigâmetro como fonte de informação das demandas hídricas das culturas;
5. Influência da previsão meteorológica na definição das prioridades de irrigação;
6. Gestão das agendas de outorga, irrigação e captação;
7. Fluxo de operação diário do sistema;
8. Ciclos de testes previstos para avaliação de resultados;
9. Benefícios da utilização do sistema;

**2. Discussões Gerais**

Abaixo, são apresentados pontos gerais relacionados aos tópicos apresentados.

1. Os cenários de utilização da água contemplados são suficientes para uma avaliação inicial do sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas para tornar os cenários ainda mais próximos do real? Justifique.

Representação de poços escavados e barramentos. Na representação dos poços escavados, poderiam ser desconsideradas as perdas para o solo para simplificar o problema, já que as perdas do reservatório seriam para a própria bacia, e, portanto não seria bem uma perda.

Paulo Eduardo Marques



## Análise de Especialistas

Projeto: Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão para Alocação de Água na Agricultura Irrigada em Nível de Microbacia Hidrográfica



2. Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas em termos de arquitetura do sistema? Justifique.  
**Substituir os irrigâmetros por estações meteorológicas, diminuindo custos por usuários.**
3. A modelagem matemática do problema de otimização está completa? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.  
**Outorgar água com base na eficiência dos sistemas de irrigação de cada produtor. Ou pelo menos ter algum controle baseado neste acompanhamento.**  
**Em épocas de escassez, é melhor irrigar uma única vez por mais tempo, do que várias vezes por menor tempo. No primeiro caso, se diminui as perdas por evapotranspiração.**
4. A utilização das agendas de outorga, irrigação e captação são factíveis em um ambiente real de operação do sistema? A funcionalidade de gestão das agendas é importante para o sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.  
**Considerar demandas de fertirrigação. Praticamente todas as culturas possuem estas demandas hídricas. Nos casos em que a adubação é realizada no mesmo dia da irrigação não precisaria apontar esta demanda extra. Caso o sistema fosse automático, seria desnecessário.**
5. O fluxo de operação diário é factível em um ambiente real de operação do sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.  
**O fluxo de operação é viável, principalmente no cenário totalmente automatizado. Comentou que já existe um produtor no Sossego onde o sistema de irrigação opera de forma automática, ligando de forma alternada entre os dias.**
6. O sistema auxiliaria o acompanhamento do uso da água pelos órgãos gestores e sociedade? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas para garantir a sua utilização pelos órgãos gestores e sociedade? Justifique.  
**Sim, sem dúvida. Comentou sobre a necessidade de agilizar a sua implantação em um cenário piloto.**
7. Qual a visão de futuro para este sistema (aplicabilidade, preocupações, deficiências, benefícios)? Quais novas funcionalidades poderiam/deveriam ser consideradas em versões posteriores? Justifique.  
**A aplicação e uso do sistema certamente demonstrariam vários outros usos.**
8. O escopo dos ciclos de teste é suficiente para uma avaliação inicial do sistema? Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas? Justifique.  
**Não foram feitos comentários sobre os cenários de testes adotados.**

### 3. Discussões Específicas

Abaixo, são apresentados pontos específicos da área especialista relacionados aos tópicos apresentados.

1. A possibilidade de utilização de vários reservatórios e várias captações para atendimento de uma mesma cultura é factível em um ambiente real de operação do sistema? Justifique.



# Análise de Especialistas

Projeto: Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão para Alocação de Água na Agricultura Irrigada em Nível de Microbacia Hidrográfica



**Sim, é factível. Também comentou sobre a possibilidade de ter um reservatório de maior porte atendendo a outros reservatórios menores.**

2. Quais alterações poderiam/deveriam ser realizadas no sistema (arquitetura, escopo, modelagem, componentes) para tornar factível a sua implementação no Sossego? Justifique.  
**Considerar os poços escavados e talvez o uso de outras ferramentas de manejo além do irrigâmetro.**

3. Quais instrumentos, equipamentos, técnicas utilizados na região que poderiam/deveriam fazer parte do sistema? Justifique.

**Novamente comentado sobre os poços escavados aqui.**

4. Quais entidades, instituições e órgãos locais poderiam/deveriam participar/auxiliar a implantação do sistema na região? Justifique.

**Todos, sem exceção deveriam participar. Mas enfatizou a participação do Incaper.**

5. Que sub-região hidrográfica do Sossego poderia/deveria ser utilizada para um projeto piloto do sistema? Justifique.

**O Santa Helena poderia ser escolhido. Acredita que o ideal seria escolher uma região com poços escavados e outra sem poços escavados.**

6. Como seria a receptividade da comunidade em relação ao sistema? Como os usuários da região veriam a falta de controle aparente no manejo de suas culturas? Justifique.

**Acredita que a receptividade seria muito boa, desde que não levasse os usuários a perdas durante o uso do sistema. Portanto, deve-se estar atento a isto.**

**Incluir controles como o envio de consumo de energia e água para fiscalização.**

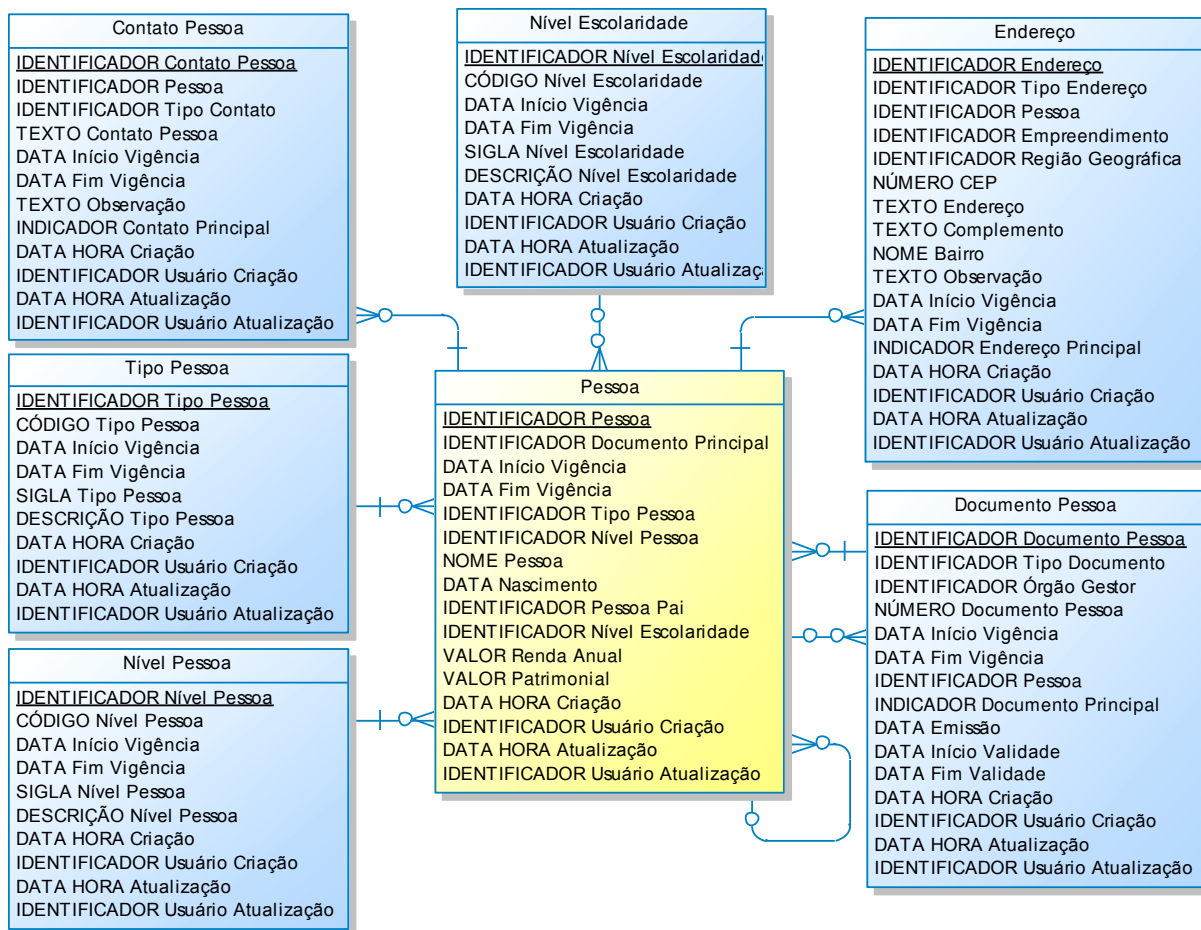
A utilização do sistema é factível para um futuro de quantos anos? Qual o nível de conhecimento/utilização da comunidade com relação a tecnologias de informática e internet? Qual o nível da infraestrutura atual de informática e internet na comunidade?

**É para já. A falta de infraestrutura deverá ser atendida ao longo do tempo e com a necessidade de implantação de projetos deste tipo.**



## APÊNDICE J – Modelo de Dados do Módulo Cadastro de Pessoas

Diagrama de entidades e relacionamentos

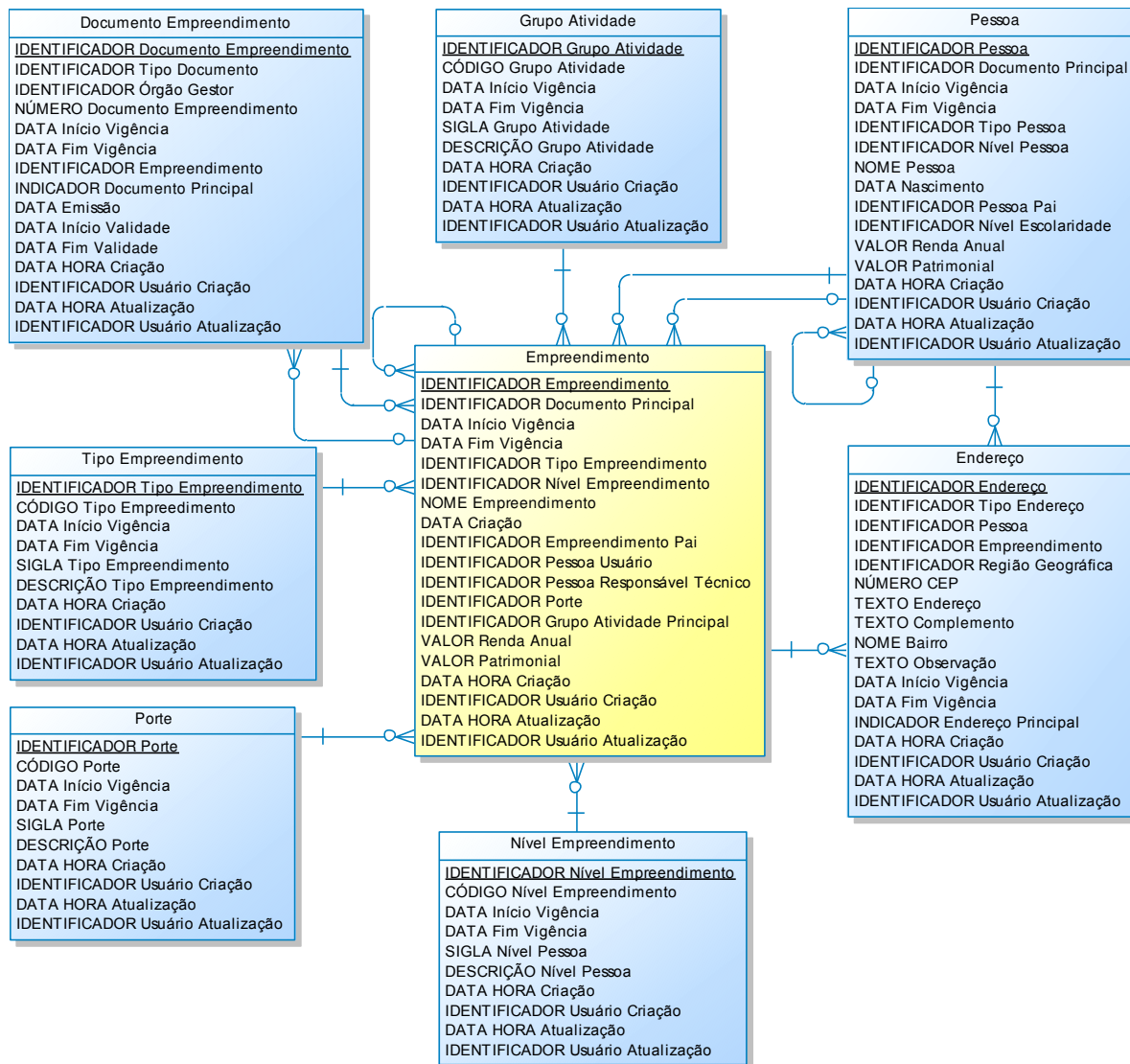


### Domínios de informações complementares e outros qualificadores de dados

<b>Tipo de Pessoa</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pessoa Física</li> <li>- Pessoa Jurídica</li> </ul>	<b>Nível de Escolaridade</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ensino Fundamental Incompleto</li> <li>- Ensino Fundamental Completo</li> <li>- Ensino Médio Incompleto</li> <li>- Ensino Médio Completo</li> <li>- Ensino Superior Incompleto</li> <li>- Ensino Superior Completo</li> </ul>	<b>Tipo de Contato Pessoal</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Telefone Residencial</li> <li>- Telefone Comercial</li> <li>- Telefone Celular</li> <li>- Telefone de Recados</li> <li>- Fax</li> <li>- E-mail Principal</li> <li>- E-mail Alternativo</li> </ul>
<b>Nível de Pessoa</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Usuário Titular</li> <li>- Usuário Dependente</li> <li>- Responsável Técnico</li> <li>- Analista de Processo de Outorga</li> <li>- Analista Meteorológico</li> <li>- Operador de Irrigâmetro</li> <li>- Analista Fluvimétrico</li> </ul>	<b>Tipo de Documento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CPF</li> <li>- RG</li> <li>- Passaporte</li> <li>- CNH</li> </ul>	<b>Tipo de Endereço</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Endereço Residencial</li> <li>- Endereço Comercial</li> </ul>

## APÊNDICE K – Modelo de Dados do Módulo Cadastro de Empreendimentos

Diagrama de entidades e relacionamentos

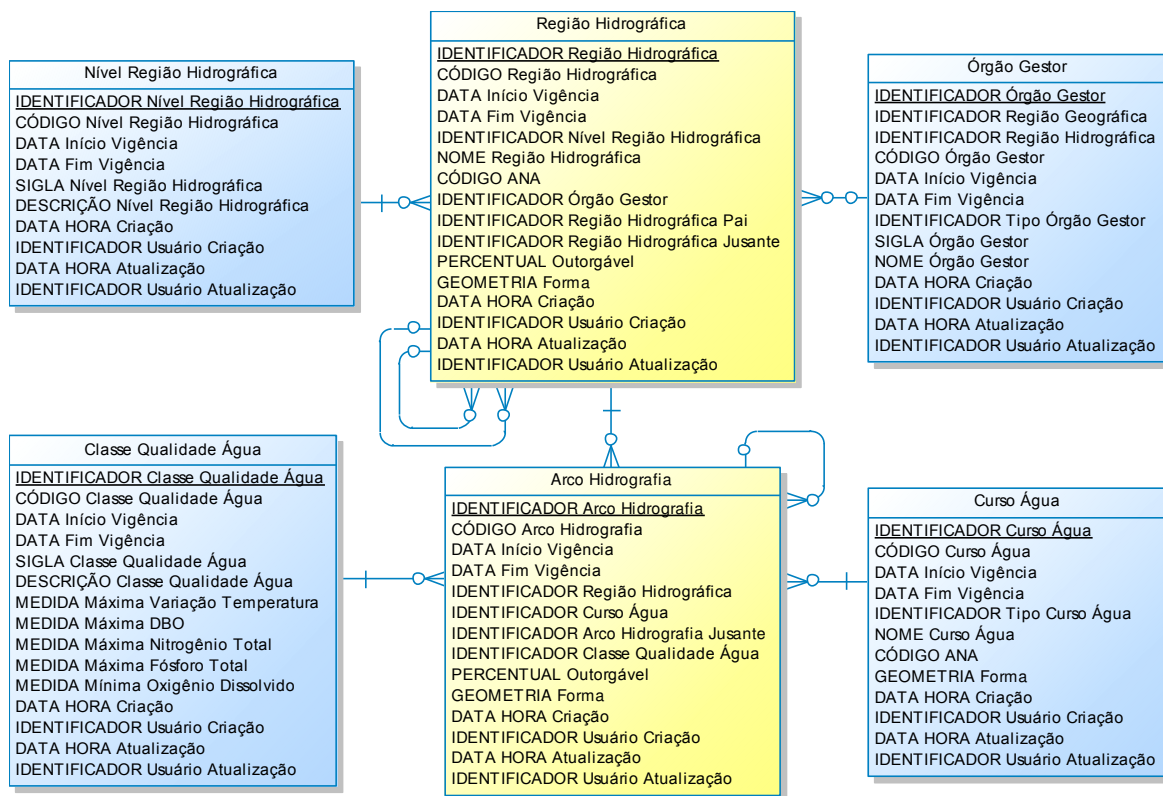


## Domínios de informações complementares e outros qualificadores de dados

<b>Grupo de Atividade Principal</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mineração</li> <li>- Indústria</li> <li>- Agropecuária</li> <li>- Irrigação</li> <li>- Aquicultura</li> <li>- Obras Cíveis Lineares</li> <li>- Obras Cíveis Não Lineares</li> <li>- Lazer e Turismo</li> <li>- Saneamento</li> <li>- Imobiliários e de Parcelamento e Uso do Solo</li> <li>- Serviços</li> <li>- Levantamento, Monitoramento e Resgate de Fauna</li> <li>- Florestal</li> <li>- Aproveitamento Hidrelétrico</li> </ul>	<b>Porte de Empreendimento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pequeno Porte</li> <li>- Médio Porte</li> <li>- Grande Porte</li> </ul>
<b>Tipo de Empreendimento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empreendimento Rural</li> <li>- Empreendimento Urbano</li> </ul>	<b>Nível de Empreendimento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Empreendimento Principal</li> <li>- Empreendimento Secundário</li> </ul> <b>Tipo de Endereço</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Endereço Residencial</li> <li>- Endereço Comercial</li> </ul> <b>Tipo de Documento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CNPJ: Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica</li> <li>- CCIR: Certificado de Cadastro de Imóvel Rural</li> <li>- NIRF: Número de Inscrição do Imóvel Rural</li> </ul>

## APÊNDICE L – Modelo de Dados do Módulo Organização da Área de Drenagem

Diagrama de entidades e relacionamentos

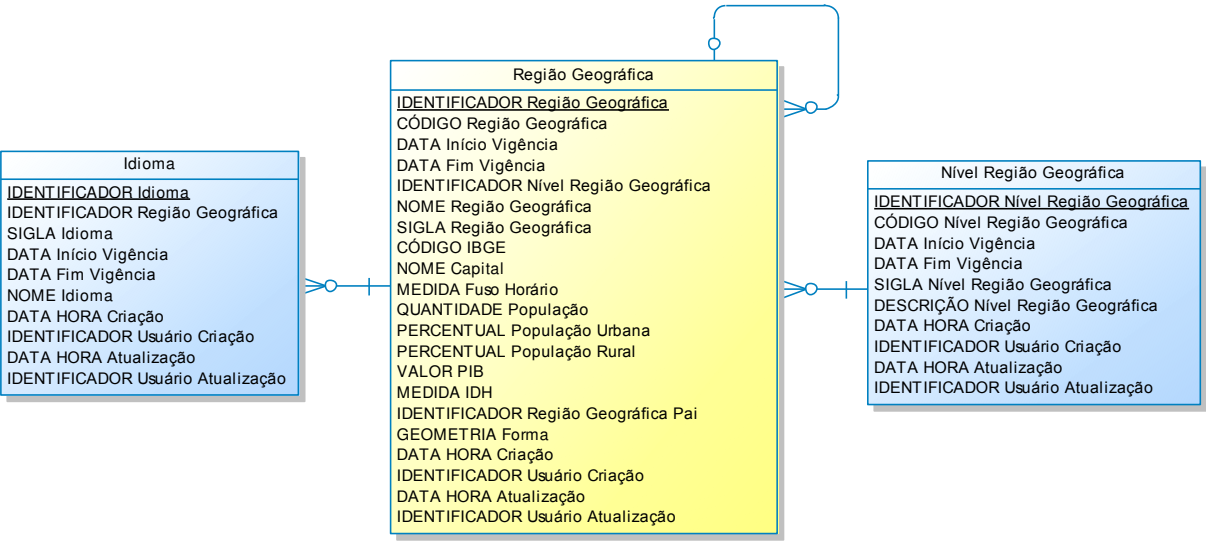


### Domínios de informações complementares e outros qualificadores de dados

<b>Tipo de Curso D'água</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rio</li> <li>- Ribeirão</li> <li>- Córrego</li> <li>- Riacho</li> <li>- Lago</li> <li>- Lagoa</li> <li>- Ilha</li> <li>- Brejo</li> </ul>	<b>Nível de Região Hidrográfica</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Região Hidrográfica</li> <li>- Bacia Hidrográfica</li> <li>- Sub-bacia Hidrográfica</li> <li>- Microbacia Hidrográfica</li> <li>- Sub-bacia de Microbacia Hidrográfica</li> </ul>
<b>Órgão Gestor</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ANA</li> <li>- IEMA</li> <li>- IGAM</li> </ul>	<b>Classe de Enquadramento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Classe Especial</li> <li>- Classe 1</li> <li>- Classe 2</li> <li>- Classe 3</li> <li>- Classe 4</li> </ul>

# APÊNDICE M – Modelo de Dados do Módulo Organização Territorial

## Diagrama de entidades e relacionamentos

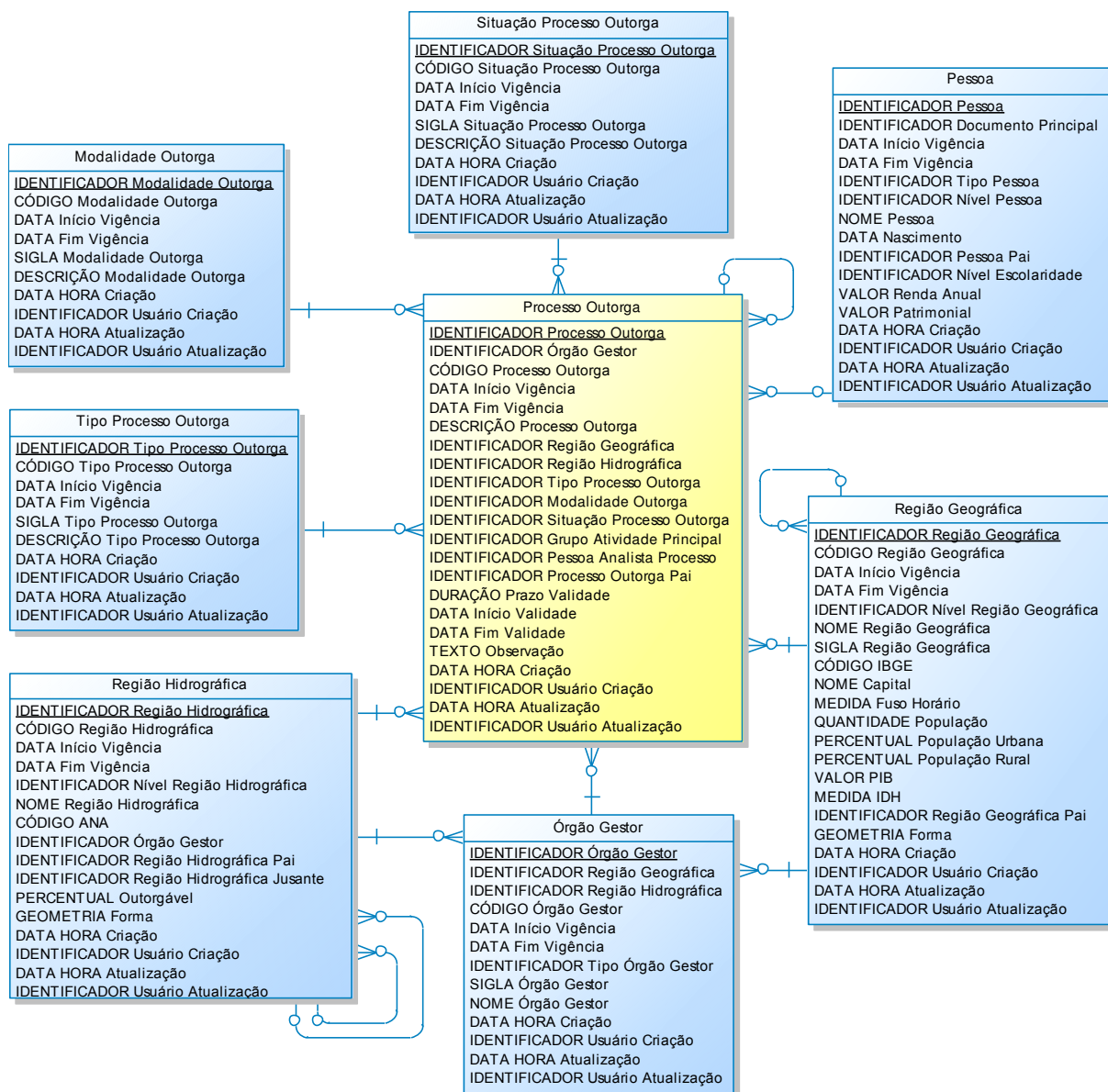


## Domínios de informações complementares e outros qualificadores de dados

<p><b>Nível de Região Geográfica</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Continente</li> <li>- País</li> <li>- Região</li> <li>- Estado/UF/Distrito</li> <li>- Cidade/Município</li> </ul>	<p><b>Idioma</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- PT: Português</li> <li>- ES: Espanhol</li> <li>- EN: Inglês</li> </ul>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

## APÊNDICE N – Modelo de Dados do Módulo Gestão de Outorgas

### Diagrama de entidades e relacionamentos



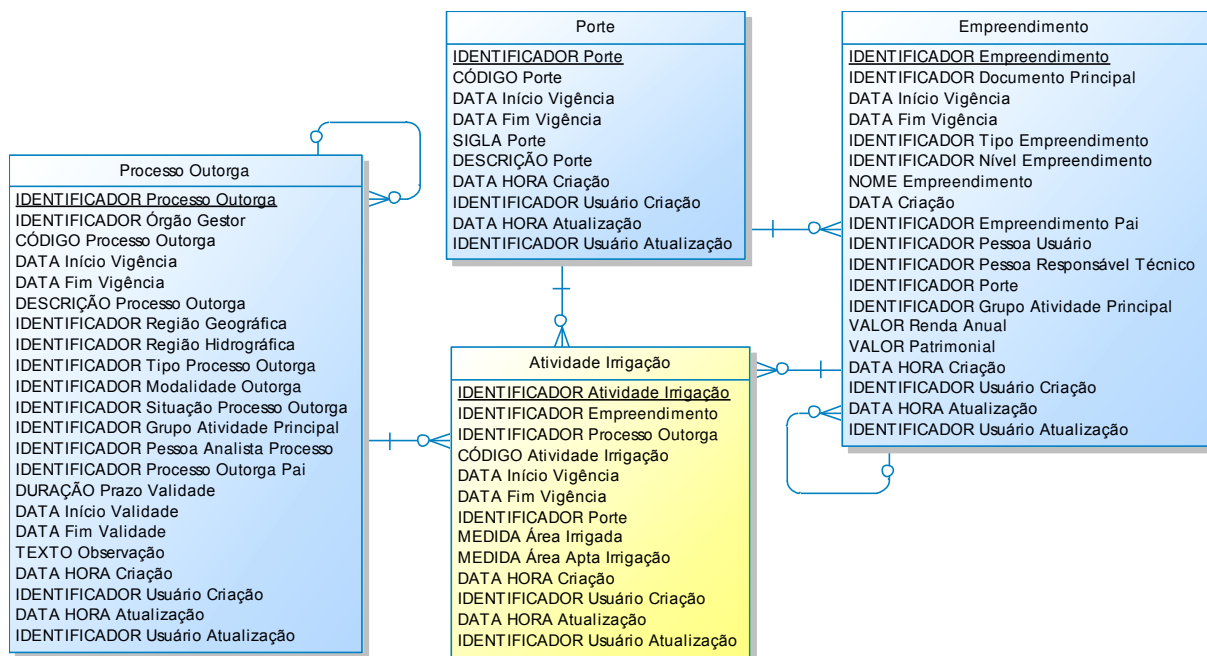
## Domínios de informações complementares e outros qualificadores de dados

<b>Situação de Processo de Outorga</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Em Análise</li> <li>- Pendente</li> <li>- Deferido</li> <li>- Indeferido</li> <li>- Suspenso</li> <li>- Vencido</li> <li>- Cancelado</li> <li>- Arquivado</li> </ul>	<b>Grupo de Atividade Principal</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mineração</li> <li>- Indústria</li> <li>- Agropecuária</li> <li>- Irrigação</li> <li>- Aquicultura</li> <li>- Obras Cíveis Lineares</li> <li>- Obras Cíveis Não Lineares</li> <li>- Lazer e Turismo</li> <li>- Saneamento</li> <li>- Imobiliários e de Parcelamento e Uso do Solo</li> <li>- Serviços</li> <li>- Levantamento, Monitoramento e Resgate de Fauna</li> <li>- Florestal</li> <li>- Aproveitamento Hidrelétrico</li> </ul>	<b>Tipo de Processo de Outorga</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Outorga</li> <li>- Renovação</li> <li>- Cessão</li> <li>- Alteração</li> <li>- Transferência</li> </ul>
<b>Modalidade de Outorga</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Autorização</li> <li>- Concessão</li> </ul>		<b>Órgão Gestor</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ANA</li> <li>- IEMA</li> <li>- IGAM</li> </ul>



## APÊNDICE O – Modelo de Dados do Módulo Cadastro de Atividades de Uso da Água

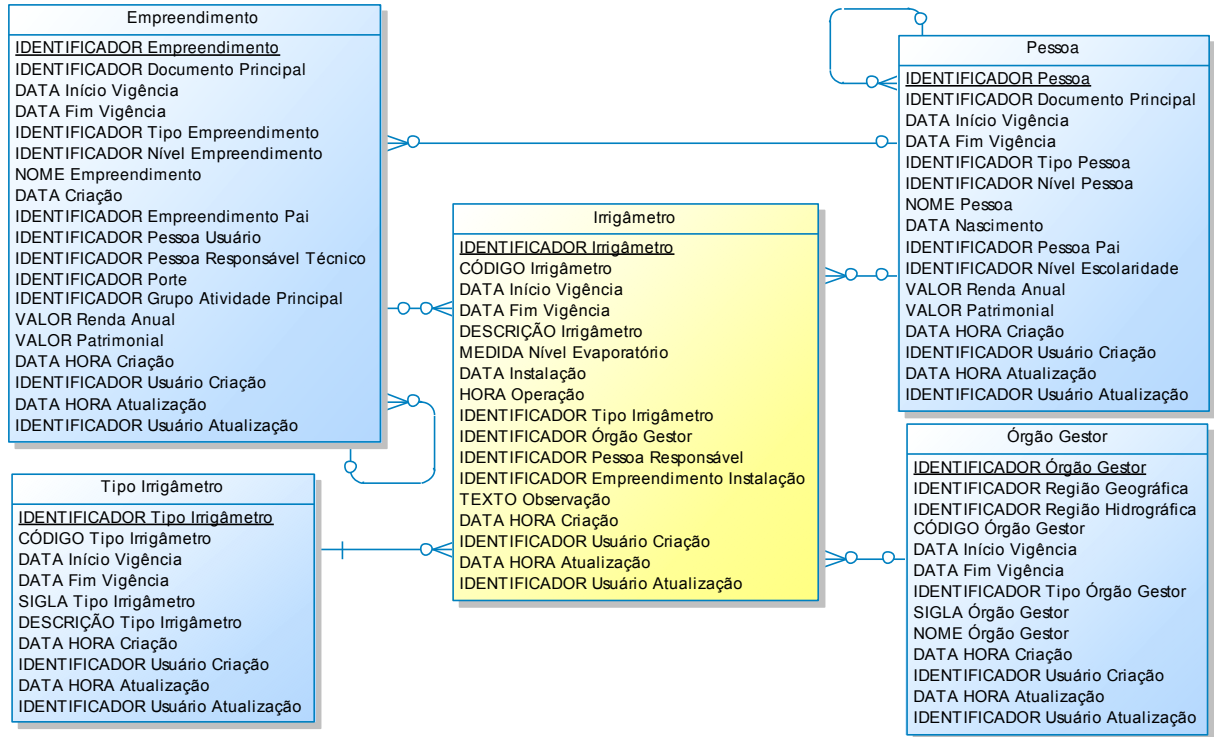
Diagrama de entidades e relacionamentos



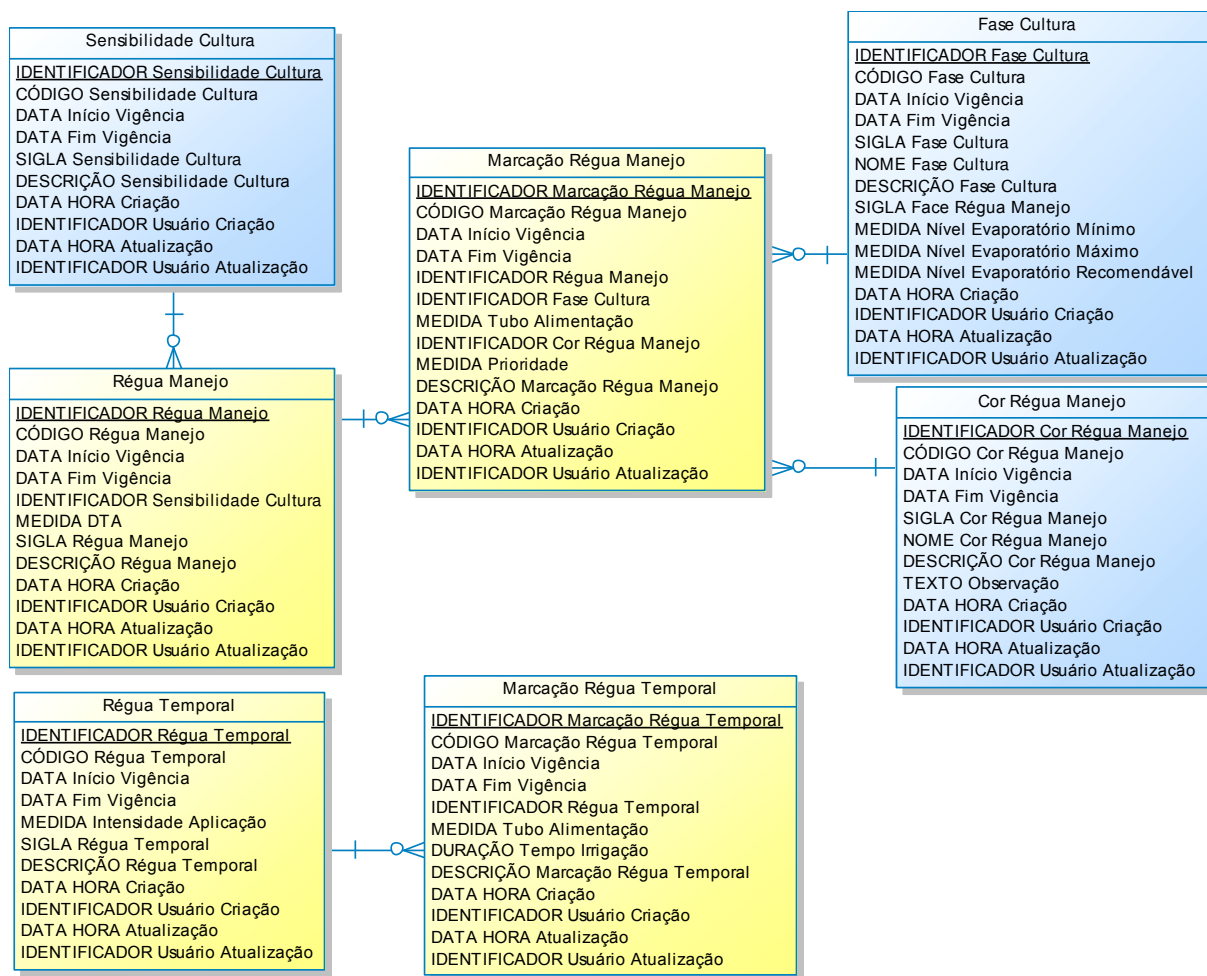


## APÊNDICE P – Modelo de Dados do Módulo Cadastro de Irrigâmetros

Diagrama de entidades e relacionamentos de irrigâmetros



## Diagrama de entidades e relacionamentos das régua e suas marcações

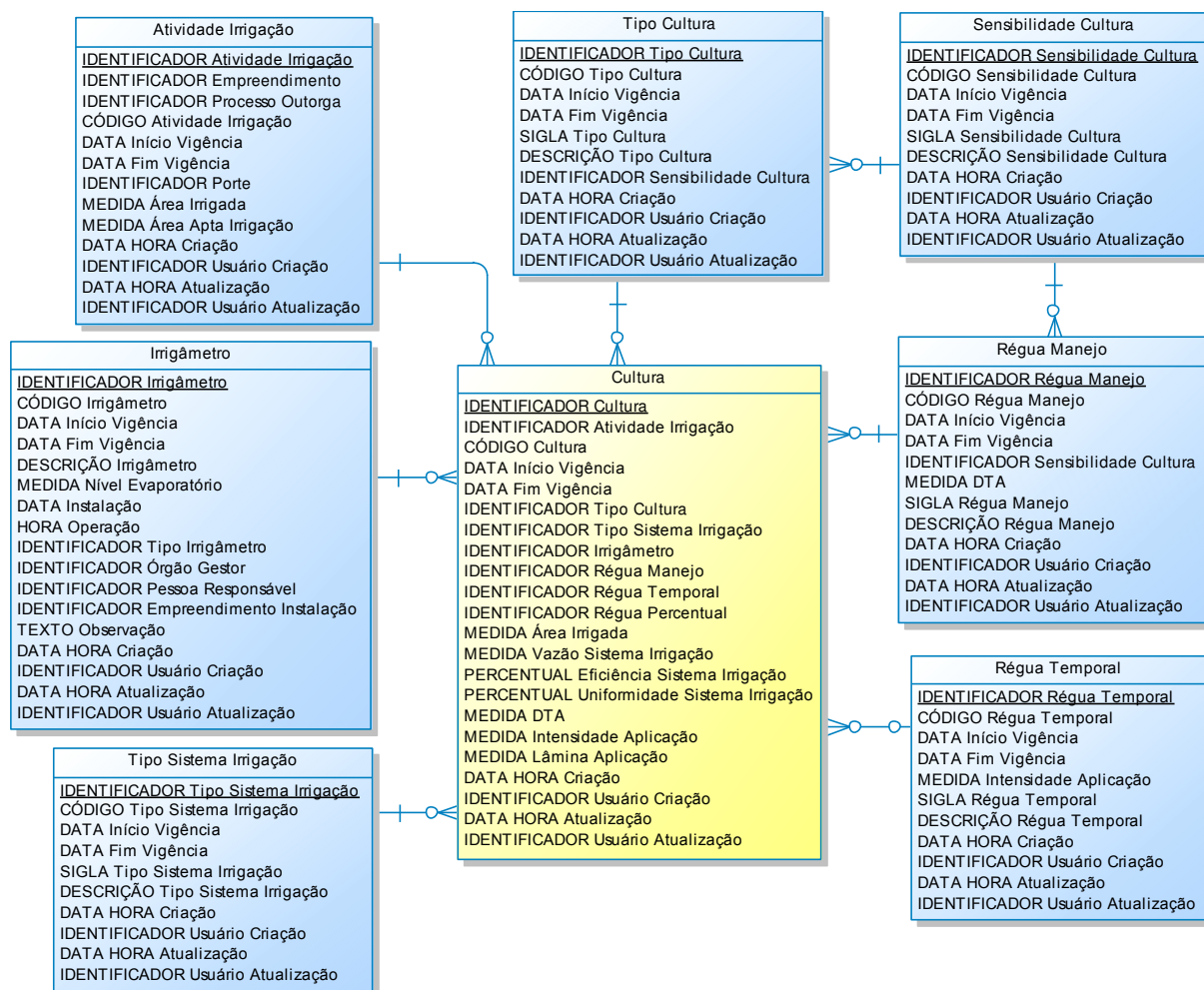


## Domínios de informações complementares e outros qualificadores de dados

<b>Tipo de Irrigâmetro</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso Exclusivo para uma Cultura</li> <li>- Uso Compartilhado para Culturas de um Mesmo Empreendimento</li> <li>- Uso Compartilhado para Culturas de Vários Empreendimentos</li> </ul>	<b>Sensibilidade de Cultura</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CMS: Culturas Muito Sensíveis</li> <li>- CS: Culturas Sensíveis</li> <li>- CPS: Culturas Pouco Sensíveis</li> </ul>
<b>Fase de Cultura</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- G: Germinação, do plantio até a emergência</li> <li>- 1: Fase 1, da emergência até 10% de cobertura do solo</li> <li>- 2: Fase 2, de 10 a 80% de cobertura do solo ou início do florescimento</li> <li>- 3: Fase 3, após 80% de cobertura do solo ou do início do florescimento até o início da maturação</li> <li>- 4: Fase 4, do início da maturação até a colheita</li> </ul>	<b>Cor de Régua de Manejo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Azul: Alta disponibilidade de água no solo</li> <li>- Verde: Boa disponibilidade de água no solo</li> <li>- Amarela: Alerta do momento de irrigar</li> <li>- Vermelha: Baixa disponibilidade de água no solo</li> </ul>

## APÊNDICE Q – Modelo de Dados do Módulo Cadastro de Atividades de Irrigação

Diagrama de entidades e relacionamentos

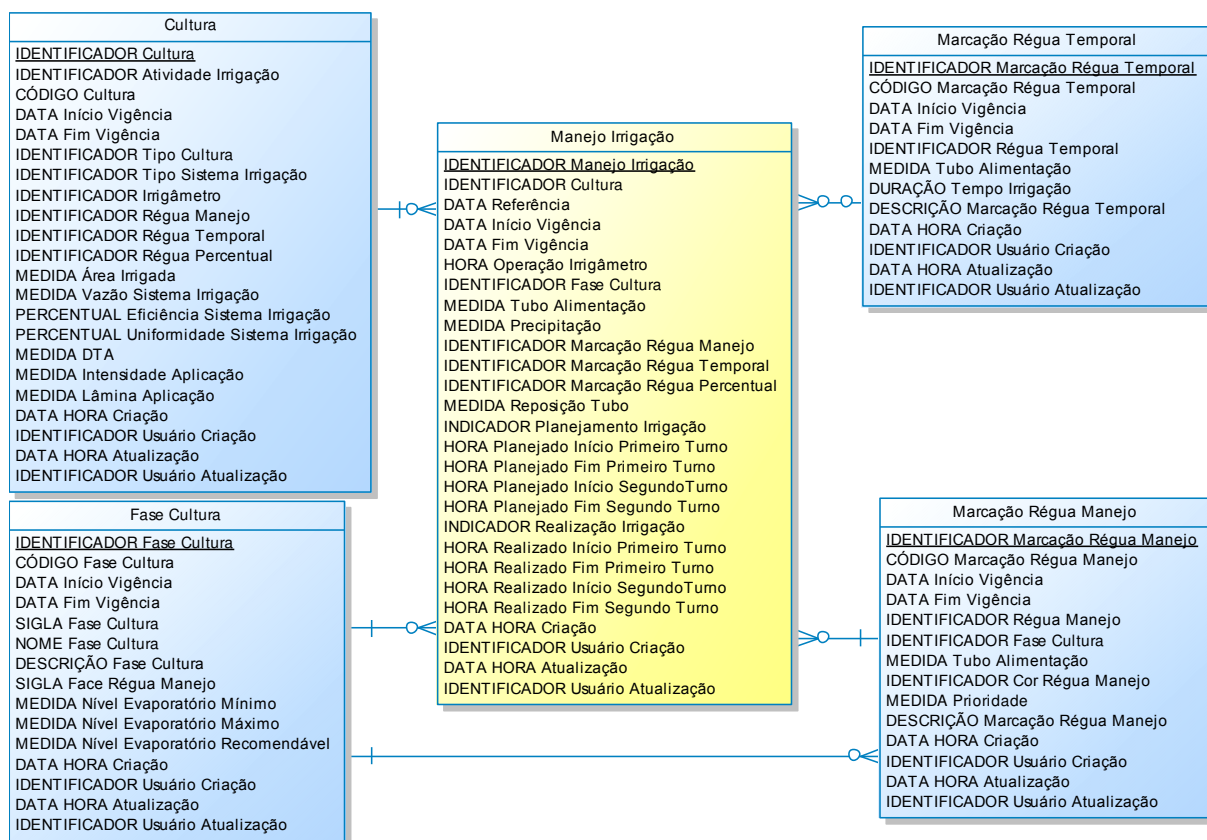


### Domínios de informações complementares e outros qualificadores de dados

<b>Tipo de Sistema de Irrigação</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aspersão Convencional</li> <li>- Gotejamento</li> <li>- Microaspersão</li> <li>- Pivô Central</li> <li>- Sistema Linear</li> </ul>	<b>Tipo de Cultura</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Café</li> <li>- Inhame</li> <li>- Banana</li> <li>- Milho</li> <li>- Feijão</li> <li>- ...</li> </ul>	<b>Sensibilidade de Cultura</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- CMS: Culturas Muito Sensíveis</li> <li>- CS: Culturas Sensíveis</li> <li>- CPS: Culturas Pouco Sensíveis</li> </ul>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

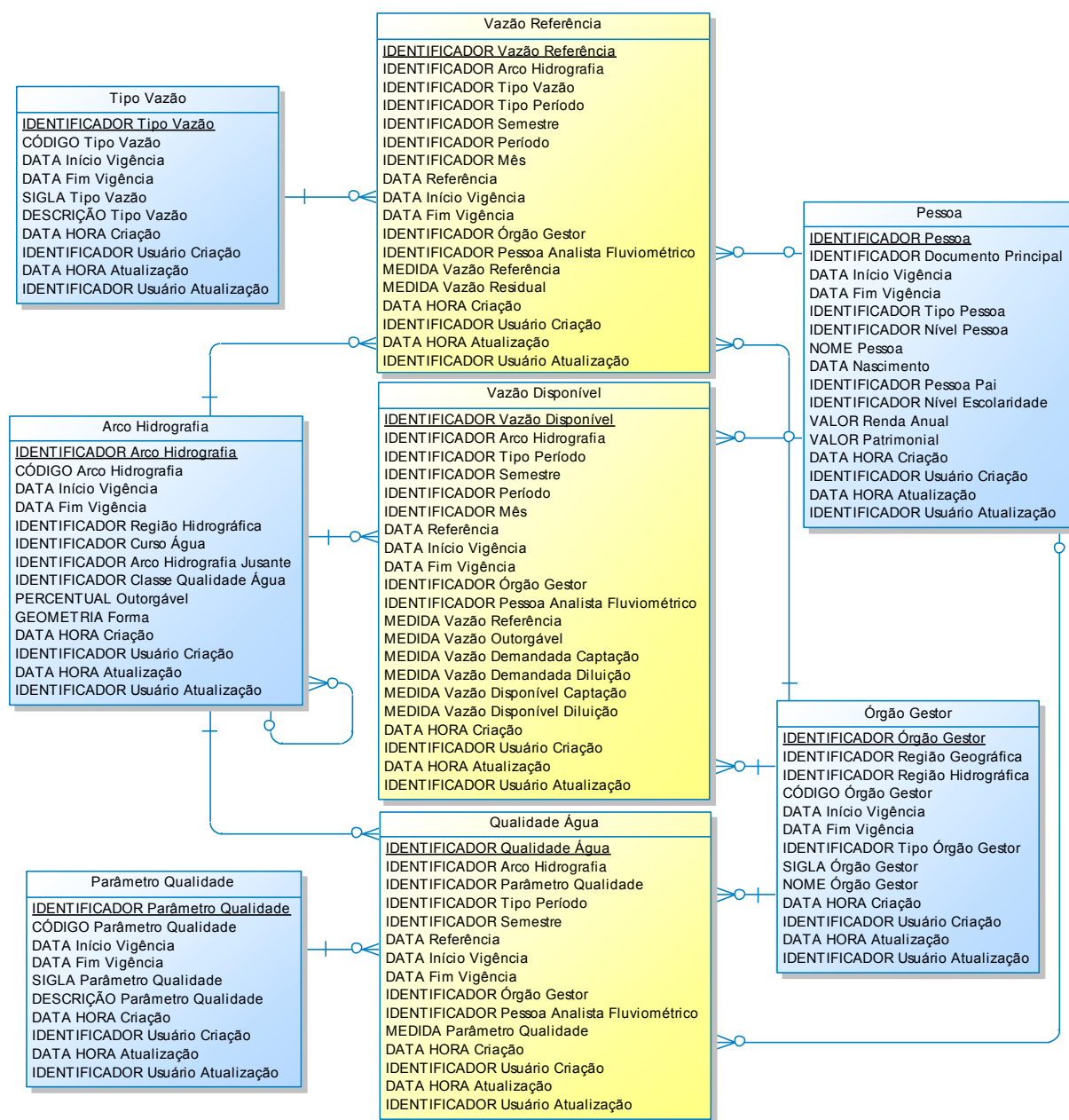
## APÊNDICE R – Modelo de Dados do Módulo Manejo de Irrigação

### Diagrama de entidades e relacionamentos



## APÊNDICE S – Modelo de Dados do Módulo Gestão Hidrológica

### Diagrama de entidades e relacionamentos



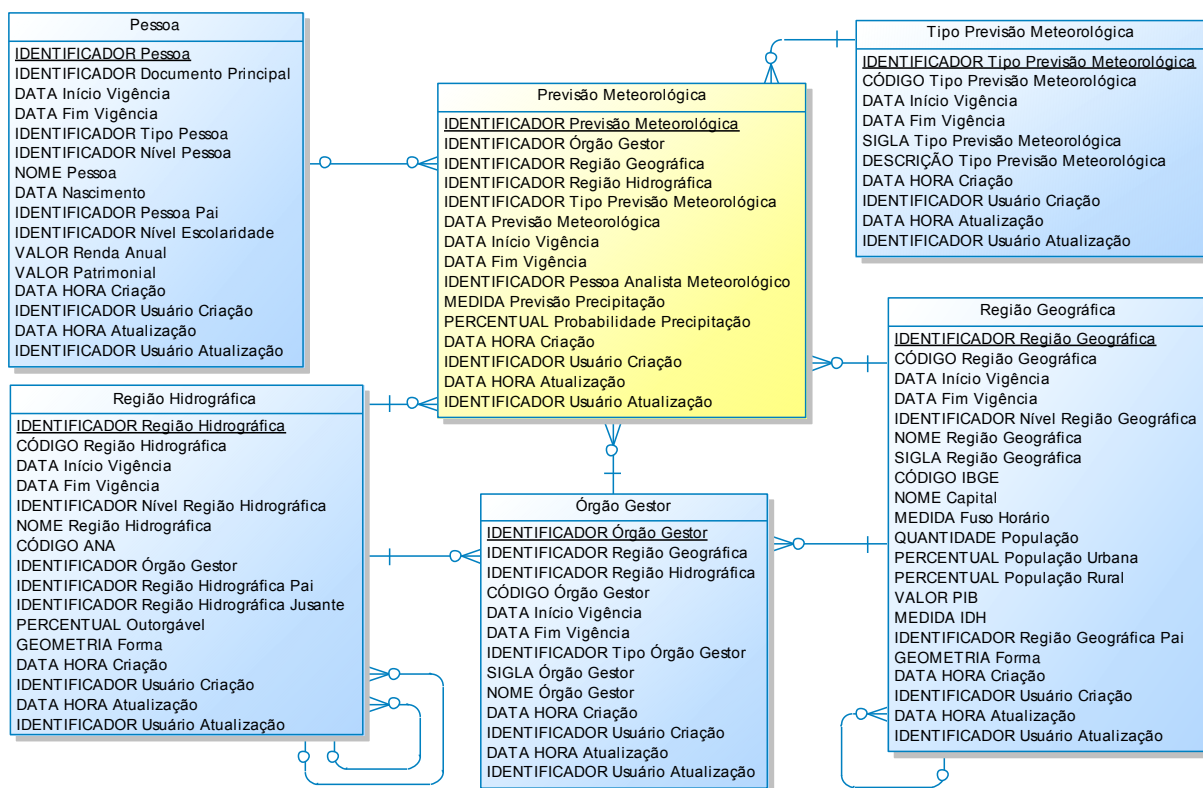
## Domínios de informações complementares e outros qualificadores de dados

<b>Tipo de Vazão</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vazão Real</li> <li>- Vazão Referência</li> <li>- Vazão Outorgável</li> <li>- Vazão Demandada</li> <li>- Vazão Disponível</li> <li>- Vazão Mínima Q90</li> <li>- Vazão Mínima Q95</li> <li>- Vazão Mínima Q7,10</li> <li>- Vazão Média</li> <li>- Vazão Média Q50</li> <li>- Vazão Máxima com Recorrência de 2 Anos</li> <li>- Vazão Máxima com Recorrência de 10 Anos</li> <li>- Vazão Máxima com Recorrência de 20 Anos</li> <li>- Vazão Máxima com Recorrência de 50 Anos</li> <li>- Vazão Máxima com Recorrência de 100 Anos</li> </ul>	<b>Tipo de Período de Monitoramento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Histórico</li> <li>- Ano Hidrológico</li> <li>- Semestre do Ano Hidrológico</li> <li>- Período do Ano Hidrológico</li> <li>- Mês</li> <li>- Dia</li> </ul> <b>Semestre de Monitoramento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Semestre Seco</li> <li>- Semestre Chuvoso</li> </ul> <b>Período de Monitoramento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Período Seco</li> <li>- Período Normal</li> <li>- Período Chuvoso</li> </ul> <b>Órgão Gestor</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ANA</li> <li>- IEMA</li> <li>- IGAM</li> </ul>	<b>Mês de Monitoramento</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Janeiro</li> <li>- Fevereiro</li> <li>- Março</li> <li>- Abril</li> <li>- Maio</li> <li>- Junho</li> <li>- Julho</li> <li>- Agosto</li> <li>- Setembro</li> <li>- Outubro</li> <li>- Novembro</li> <li>- Dezembro</li> </ul>	<b>Parâmetro de Qualidade de Água</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura (°C)</li> <li>- Variação Temperatura (°C)</li> <li>- pH (pH)</li> <li>- DBO (mg/L)</li> <li>- IQA (IQA)</li> <li>- Nitrato - NO<sub>3</sub> (mg/L)</li> <li>- Nitrogênio Total (mg/L)</li> <li>- Fosfato Total - PO<sub>4</sub> (mg/L)</li> <li>- Fósforo Total (mg/L)</li> <li>- Oxigênio Dissolvido (mg/L)</li> <li>- Coliformes Totais (NMP/100mL)</li> <li>- Coliformes Fecais (NMP/100mL)</li> <li>- Sólidos Totais (mg/L)</li> <li>- Turbidez (UNT)</li> </ul>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



## APÊNDICE T – Modelo de Dados do Módulo Gestão Meteorológica

Diagrama de entidades e relacionamentos



## APÊNDICE U – Modelo de Dados do Módulo Cadastro de Intervenções Hídricas

Diagrama de entidades e relacionamentos de captações superficiais

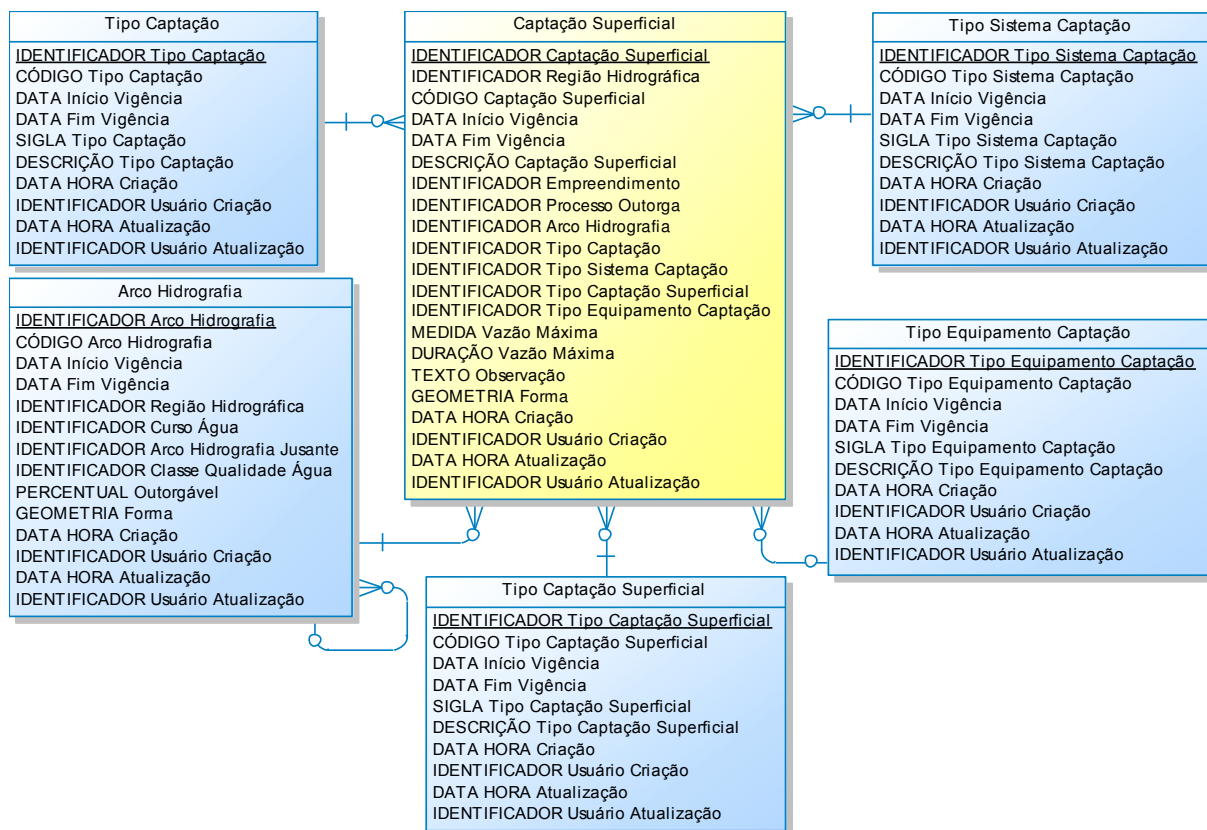
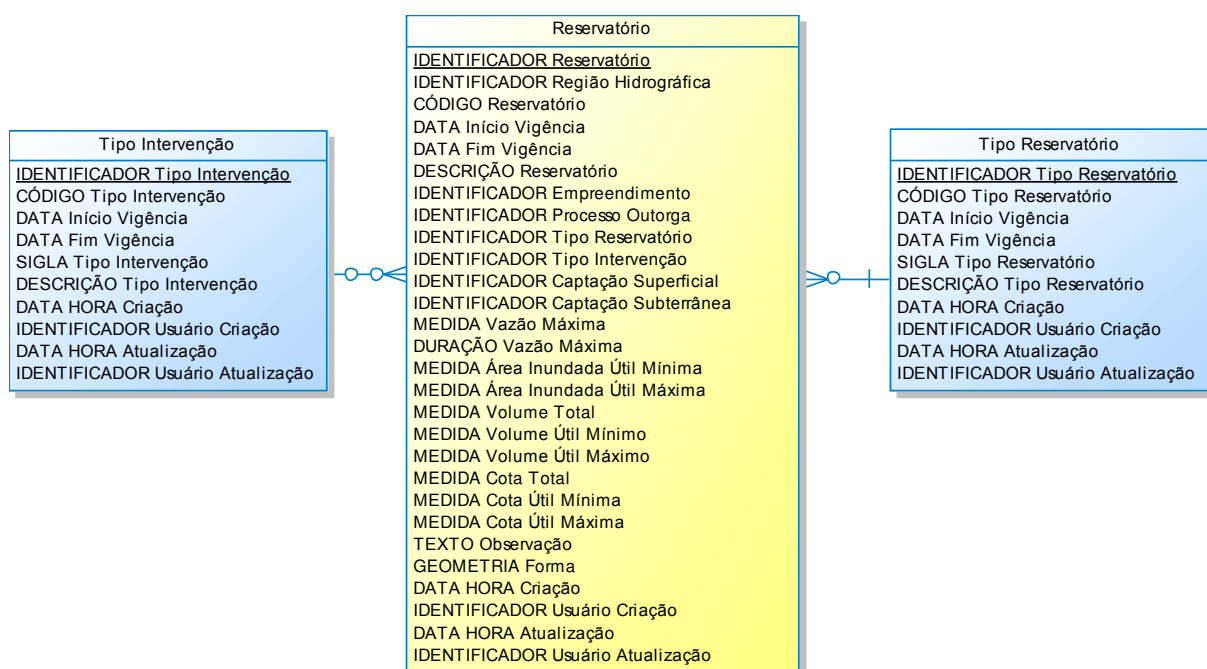
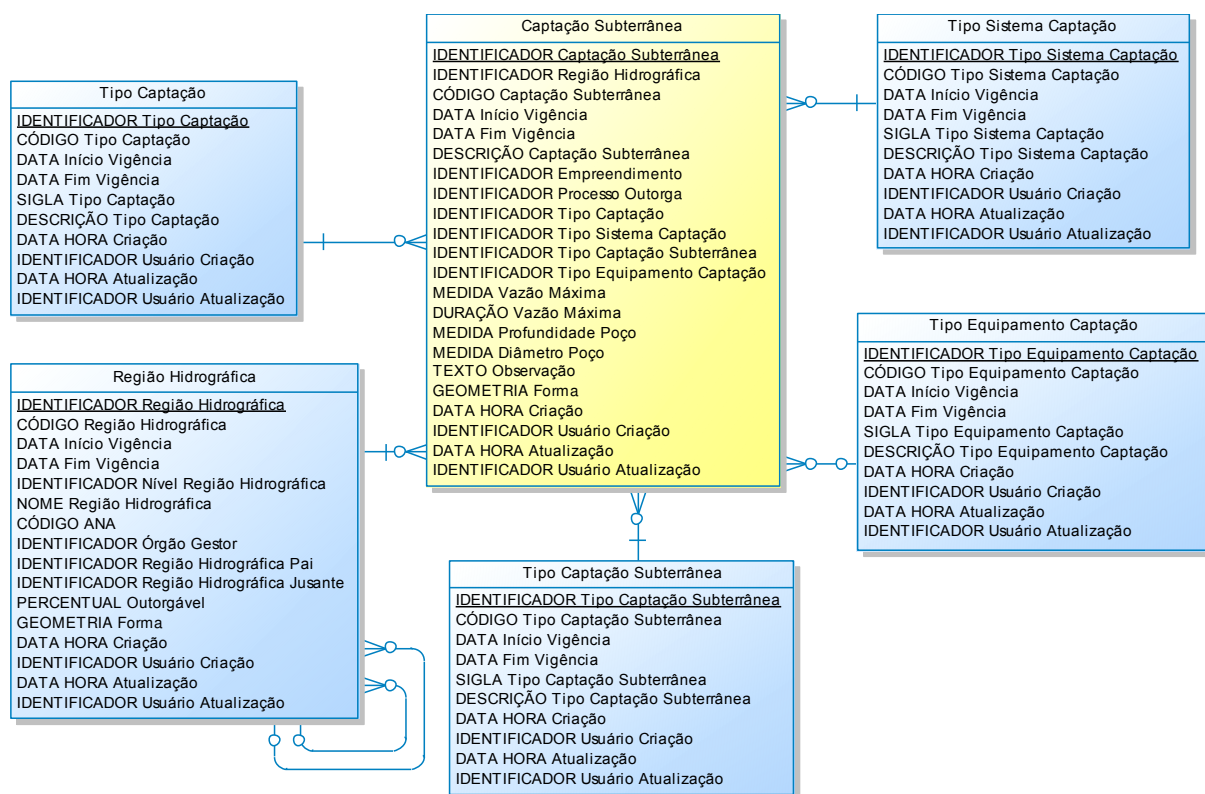


Diagrama de entidades e relacionamentos de reservatórios





## Diagrama de entidades e relacionamentos de captações subterrâneas



## Domínios de informações complementares e outros qualificadores de dados

<b>Tipo de Intervenção</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Captação Superficial</li> <li>- Captação Subterrânea</li> <li>- Lançamento de Efluentes</li> <li>- Barragem</li> <li>- Hidrelétrica</li> </ul>	<b>Tipo de Captação</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso Significante</li> <li>- Uso Insignificante</li> </ul>	<b>Tipo de Equipamento de Captação</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bomba Centrífuga</li> <li>- Bomba Injetora</li> <li>- Bomba Manual</li> <li>- Bomba Pistão</li> <li>- Bomba Submersa</li> <li>- Bomba Turbina</li> <li>- Compressor</li> </ul>
<b>Tipo de Sistema de Captação</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema Implantado</li> <li>- Sistema Não Implantado</li> </ul>	<b>Tipo de Captação Superficial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bombeamento</li> <li>- Gravidade</li> </ul>	
	<b>Tipo de Captação Subterrânea</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Poço Manual ou Cisterna</li> <li>- Surgência</li> <li>- Poço Tubular</li> <li>- Extração em Cava Aluvionar por Meio de Dragagem</li> </ul>	<b>Tipo de Reservatório</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Natural</li> <li>- Artificial Permeável</li> <li>- Artificial Impermeável</li> </ul>

## APÊNDICE V – Código Fonte da Rotina de Otimização

```

Model[
  Parameters[
    Sets[Integers[0, Infinity]],
    Arco,
    Reservatorio,
    CAC,
    CAR,
    CRC,
    Cultura,
    Horario,
    Regua
  ],
  Parameters[
    Integers[0, Infinity],
    VazaoOutorga[Arco],
    ArcoJusante[Arco],
    VolumeInicial[Reservatorio],
    VolumeMinimo[Reservatorio],
    VolumeMaximo[Reservatorio],
    CACVazao[CAC],
    CARVazao[CAR],
    CRCVazao[CRC],
    CACArco[CAC],
    CACCultura[CAC],
    CRCReservatorio[CRC],
    CRCCultura[CRC],
    CARArco[CAR],
    CARReservatorio[CAR],
    LeituraIrrigametro[Cultura]
  ],
  Parameters[
    Integers[-Infinity, Infinity],
    CACPrioridade[CAC, Horario, Regua],
    CRCPrioridade[CRC, Horario, Regua],
    CARPrioridade[CAR, Horario]
  ],
  Decisions[
    Integers[0, 1],
    CARAtiva[CAR, Horario],
    CACAtiva[CAC, Horario, Regua],
    CRCAtiva[CRC, Horario, Regua]
  ],
  Decisions[
    Integers[0, Infinity],
    SomaVazaoCaptacao[Arco, Horario],
    SomaVazaoCaptacaoAcumulada[Arco, Horario],
    LeituraIrrigametroAcumulada[Cultura, Horario]
  ],
  Decisions[
    Integers[-Infinity, Infinity],
    VolumeReservatorioDelta[Reservatorio, Horario],
    VolumeReservatorioAcumulado[Reservatorio, Horario]
  ],
  Constraints[
    SomaVazaoCaptacaoArcoHorario -> Foreach[{iter1, Arco}, {iter3,
Horario},
      Plus[-SomaVazaoCaptacao[iter1, iter3],
        FilteredSum[{iter6, CAC}, {iter4, Regua}, CACArco[iter6] ==
iter1, CACAtiva[iter6, iter3, iter4] * CACVazao[iter6]]

```

```

+
    FilteredSum[{iter8, CAR}, CARArco[iter8] == iter1,
CARAtiva[iter8, iter3] * CARVazao[iter8]]
    ] == 0
],
    SomaVazaoCaptacaoAcumuladaArco -> Foreach[{iter1, Arco}, {iter3,
Horario},
        Plus[-SomaVazaoCaptacaoAcumulada[iter1, iter3]
            +SomaVazaoCaptacao[iter1, iter3],
            FilteredSum[{iter9, Arco}, ArcoJusante[iter9] == iter1,
SomaVazaoCaptacaoAcumulada[iter9, iter3]]
            ] == 0
    ],
    VazaoAcumuladaXVazaoOutorga -> Foreach[{iter1, Arco}, {iter3, Horario},
SomaVazaoCaptacaoAcumulada[iter1, iter3] <= VazaoOutorga[iter1]],
    SomaVolumeReservatorioDelta -> Foreach[{iter5, Reservatorio}, {iter3,
Horario},
        Plus[-VolumeReservatorioDelta[iter5, iter3],
            FilteredSum[{iter8, CAR}, CARReservatorio[iter8] == iter5,
CARAtiva[iter8, iter3] * CARVazao[iter8]]
            -
            FilteredSum[{iter7, CRC}, {iter4, Regua},
CRCReservatorio[iter7] == iter5, CRCAtiva[iter7, iter3, iter4] *
CRCVazao[iter7]]
            ] == 0
    ],
    SomaVolumeReservatorioAcumulad -> Foreach[{iter5, Reservatorio},
{iter3, Horario},
        Plus[-VolumeReservatorioAcumulado[iter5, iter3]
            +VolumeInicial[iter5],
            FilteredSum[{iter10, Horario}, iter10 <= iter3,
VolumeReservatorioDelta[iter5, iter10]]
            ] == 0
    ],
    VolumeReservatorioXMinimoMaxim -> Foreach[{iter5, Reservatorio},
{iter3, Horario}, VolumeMaximo[iter5] >= VolumeReservatorioAcumulado[iter5,
iter3] >= VolumeMinimo[iter5]],
    SomaCaptacaoCulturaHorario -> Foreach[{iter2, Cultura}, {iter3,
Horario},
        FilteredSum[{iter6, CAC}, {iter4, Regua}, CACCultura[iter6] ==
iter2, CACAtiva[iter6, iter3, iter4]]
        +
        FilteredSum[{iter7, CRC}, {iter4, Regua}, CRCCultura[iter7] ==
iter2, CRCAtiva[iter7, iter3, iter4]] <= 1
    ],
    SomaCaptacaoCulturaRegua -> Foreach[{iter2, Cultura}, {iter4, Regua},
        FilteredSum[{iter6, CAC}, {iter3, Horario}, CACCultura[iter6] ==
iter2, CACAtiva[iter6, iter3, iter4]]
        +
        FilteredSum[{iter7, CRC}, {iter3, Horario}, CRCCultura[iter7] ==
iter2, CRCAtiva[iter7, iter3, iter4]] <= 1
    ],
    SomaLeituraIrrigametroAcumulad -> Foreach[{iter2, Cultura}, {iter3,
Horario},
        Plus[-LeituraIrrigametroAcumulada[iter2, iter3]
            +LeituraIrrigametro[iter2],
            -FilteredSum[{iter6, CAC}, {iter10, Horario}, {iter4, Regua},
CACCultura[iter6] == iter2 & iter10 <= iter3, CACAtiva[iter6, iter10,
iter4]]

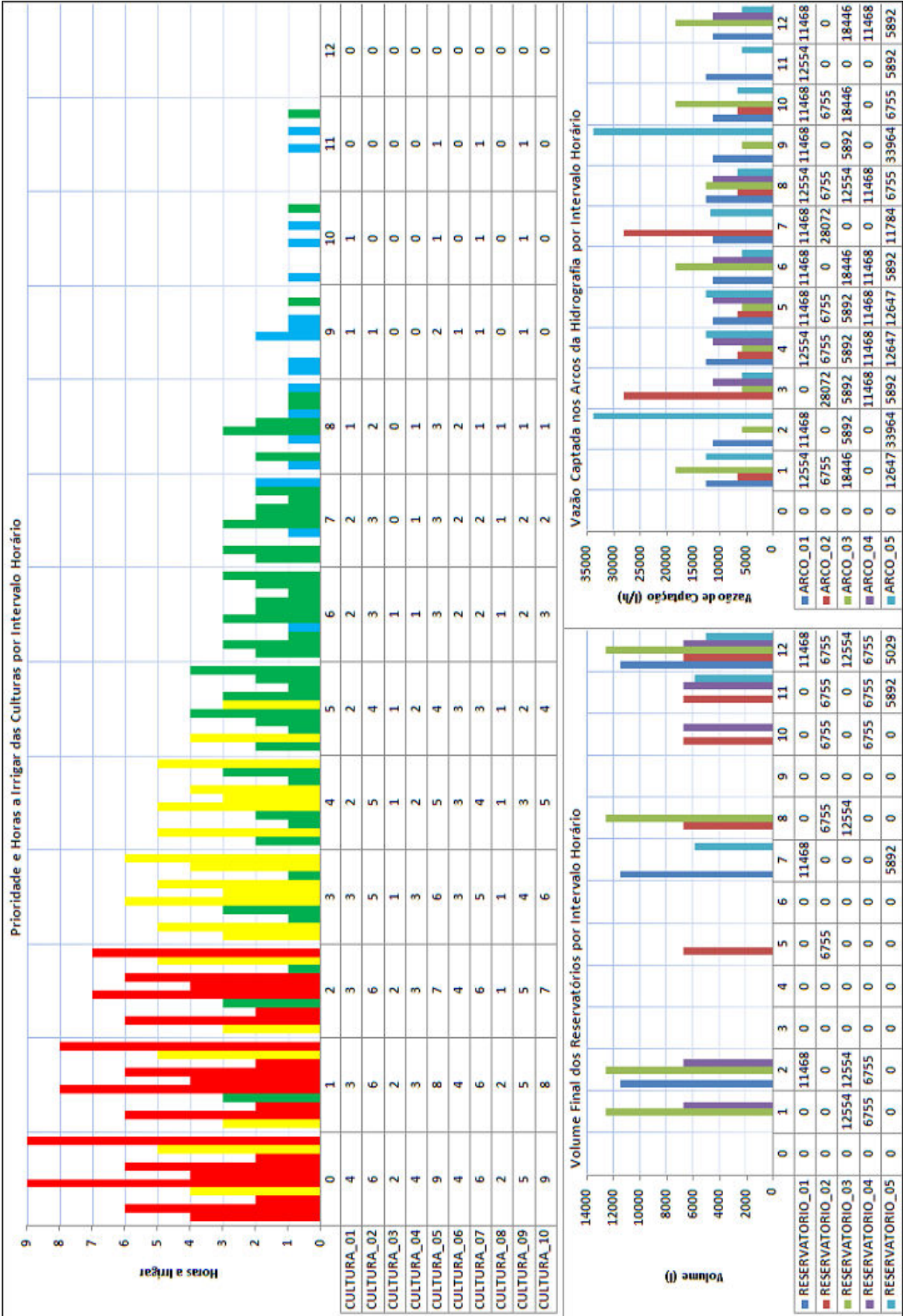
```

```

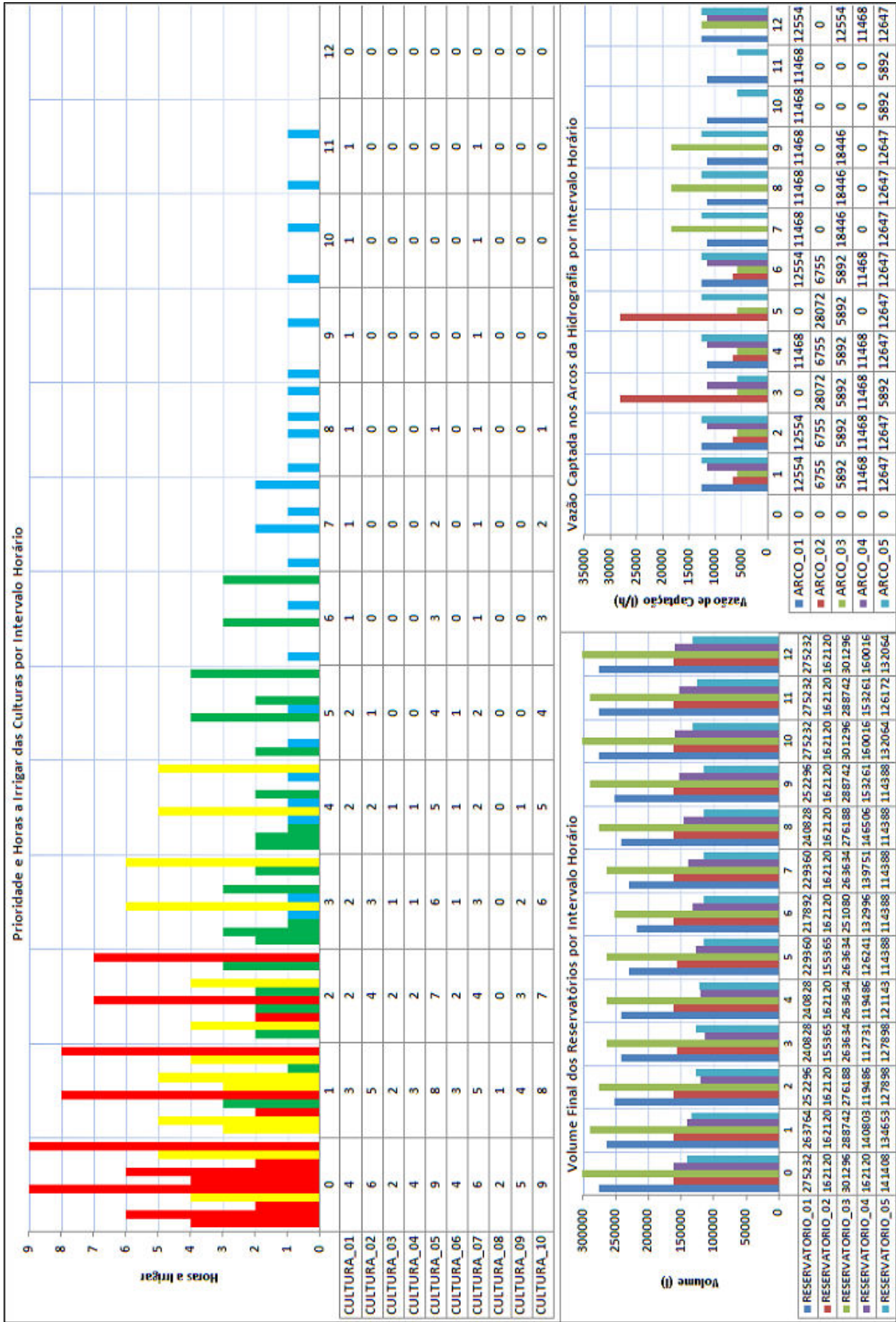
        -FilteredSum[{iter7, CRC}, {iter10, Horario}, {iter4, Regua},
CRCCultura[iter7] == iter2 & iter10 <= iter3, CRCAtiva[iter7, iter10,
iter4]]
    ] == 0
]
],
Goals[
    Maximize[
        SomaPrioridade -> Annotation[Sum[{iter6, CAC}, {iter3, Horario},
{iter4, Regua}, CACAtiva[iter6, iter3, iter4] * CACPrioridade[iter6, iter3,
iter4]]
+
Sum[{iter7, CRC}, {iter3, Horario}, {iter4, Regua}, CRCAtiva[iter7, iter3,
iter4] * CRCPrioridade[iter7, iter3, iter4]]
+
Sum[{iter8, CAR}, {iter3, Horario}, CARAtiva[iter8, iter3] *
CARPrioridade[iter8, iter3]], "order", 0]
    ]
]
]

```

APÊNDICE W – Resultados Sumarizados da Simulação do Cenário 1

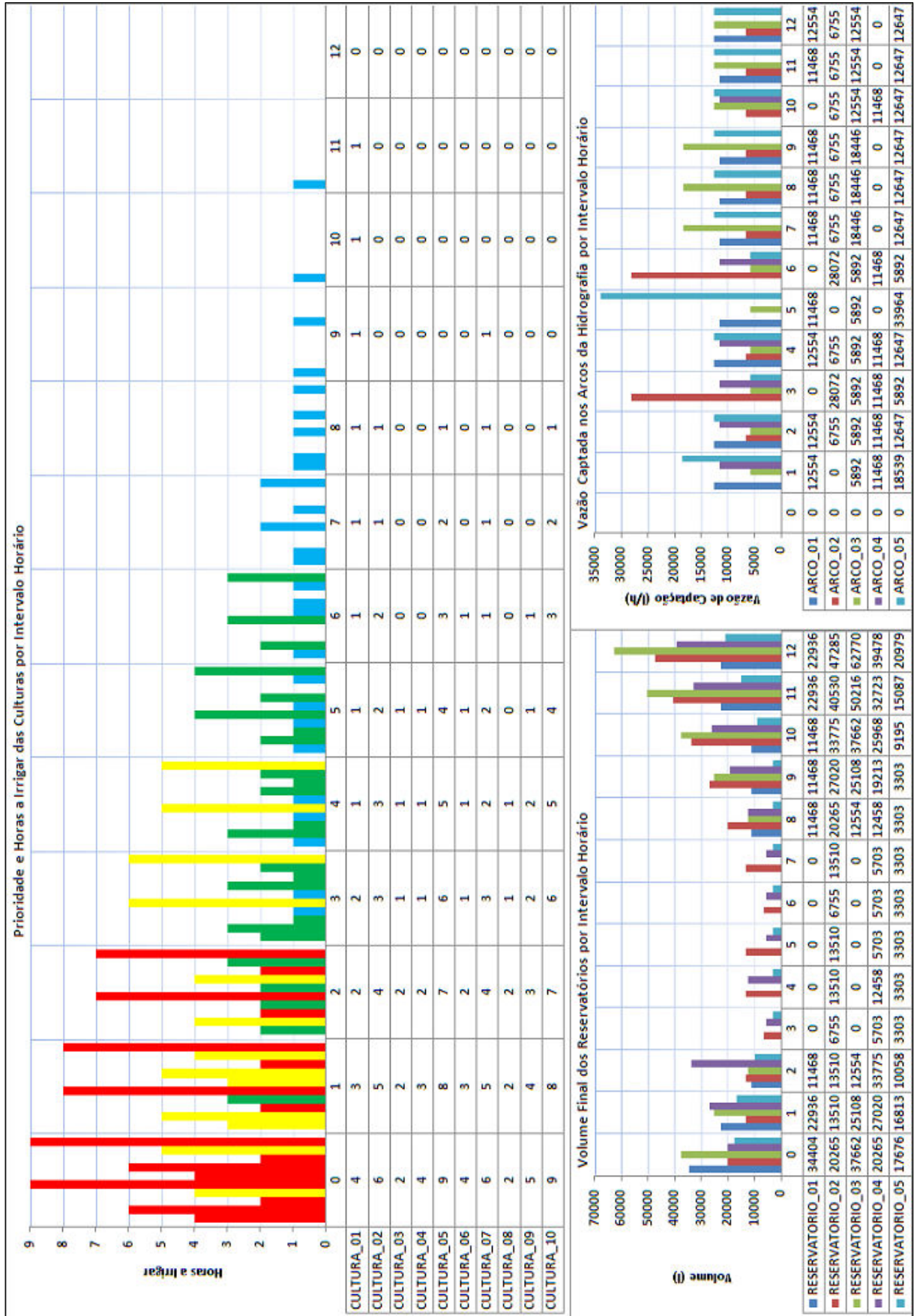


APÊNDICE X – Resultados Sumarizados da Simulação do Cenário 2





# APÊNDICE Y – Resultados Sumarizados da Simulação do Cenário 3



## APÊNDICE Z – Relatório de Atividades Gerado por Simulação

	Origem	Destino	Data	Horário	Vazão (l/h)	Tubo Início (mm)	Tubo Fim (mm)
Select	ARCO_01	CULTURA_01	12/10/2014	18:00 - 19:00	12554	16.8	12.6
Select	ARCO_01	CULTURA_01	12/10/2014	19:00 - 20:00	12554	12.6	8.4
Select	RESERVATORIO_01	CULTURA_02	12/10/2014	18:00 - 19:00	11468	18	15
Select	RESERVATORIO_01	CULTURA_02	12/10/2014	19:00 - 20:00	11468	15	12
Select	RESERVATORIO_01	CULTURA_02	12/10/2014	20:00 - 21:00	11468	12	9
Select	ARCO_02	CULTURA_03	12/10/2014	20:00 - 21:00	28072	20	10
Select	RESERVATORIO_02	CULTURA_04	12/10/2014	18:00 - 19:00	6755	12	8
Select	RESERVATORIO_02	CULTURA_04	12/10/2014	19:00 - 20:00	6755	8	4
Select	RESERVATORIO_02	CULTURA_04	12/10/2014	20:00 - 21:00	6755	4	0
Select	ARCO_03	CULTURA_05	12/10/2014	18:00 - 19:00	5892	17.1	15.2
Select	ARCO_03	CULTURA_05	12/10/2014	19:00 - 20:00	5892	15.2	13.3
Select	ARCO_03	CULTURA_05	12/10/2014	20:00 - 21:00	5892	13.3	11.4
Select	RESERVATORIO_03	CULTURA_06	12/10/2014	18:00 - 19:00	12554	16.8	12.6
Select	RESERVATORIO_03	CULTURA_06	12/10/2014	19:00 - 20:00	12554	12.6	8.4
Select	RESERVATORIO_03	CULTURA_06	12/10/2014	20:00 - 21:00	12554	8.4	4.2
Select	ARCO_04	CULTURA_07	12/10/2014	18:00 - 19:00	11468	18	15
Select	ARCO_04	CULTURA_07	12/10/2014	19:00 - 20:00	11468	15	12
Select	ARCO_04	CULTURA_07	12/10/2014	20:00 - 21:00	11468	12	9
Select	RESERVATORIO_04	CULTURA_08	12/10/2014	20:00 - 21:00	28072	20	10
Select	RESERVATORIO_05	CULTURA_09	12/10/2014	18:00 - 19:00	6755	20	16
Select	RESERVATORIO_05	CULTURA_09	12/10/2014	19:00 - 20:00	6755	16	12
Select	RESERVATORIO_05	CULTURA_09	12/10/2014	20:00 - 21:00	6755	12	8
Select	ARCO_05	CULTURA_10	12/10/2014	18:00 - 19:00	5892	17.1	15.2
Select	RESERVATORIO_05	CULTURA_10	12/10/2014	19:00 - 20:00	5892	15.2	13.3
Select	RESERVATORIO_05	CULTURA_10	12/10/2014	20:00 - 21:00	5892	13.3	11.4



## APÊNDICE AA – Relatório de Fluviômetros Gerado por Simulação

	<u>Número</u>	<u>Arco</u>	<u>Data</u>	<u>Horário</u>	<u>Medição (l/h)</u>	<u>Outorgável (l/h)</u>	<u>Captada (l/h)</u>
Select	FLUVIOMETRO_01	ARCO_01	12/10/2014	18:00 - 19:00	12554	12554	12554
Select	FLUVIOMETRO_01	ARCO_01	12/10/2014	19:00 - 20:00	12554	12554	12554
Select	FLUVIOMETRO_01	ARCO_01	12/10/2014	20:00 - 21:00	12554	12554	0
Select	FLUVIOMETRO_02	ARCO_02	12/10/2014	18:00 - 19:00	28072	28072	0
Select	FLUVIOMETRO_02	ARCO_02	12/10/2014	19:00 - 20:00	28072	28072	6755
Select	FLUVIOMETRO_02	ARCO_02	12/10/2014	20:00 - 21:00	28072	28072	28072
Select	FLUVIOMETRO_03	ARCO_03	12/10/2014	18:00 - 19:00	40626	40626	18446
Select	FLUVIOMETRO_03	ARCO_03	12/10/2014	19:00 - 20:00	40626	40626	25201
Select	FLUVIOMETRO_03	ARCO_03	12/10/2014	20:00 - 21:00	40626	40626	33964
Select	FLUVIOMETRO_04	ARCO_04	12/10/2014	18:00 - 19:00	11468	11468	11468
Select	FLUVIOMETRO_04	ARCO_04	12/10/2014	19:00 - 20:00	11468	11468	11468
Select	FLUVIOMETRO_04	ARCO_04	12/10/2014	20:00 - 21:00	11468	11468	11468
Select	FLUVIOMETRO_05	ARCO_05	12/10/2014	18:00 - 19:00	52094	52094	48453
Select	FLUVIOMETRO_05	ARCO_05	12/10/2014	19:00 - 20:00	52094	52094	49316
Select	FLUVIOMETRO_05	ARCO_05	12/10/2014	20:00 - 21:00	52094	52094	51324

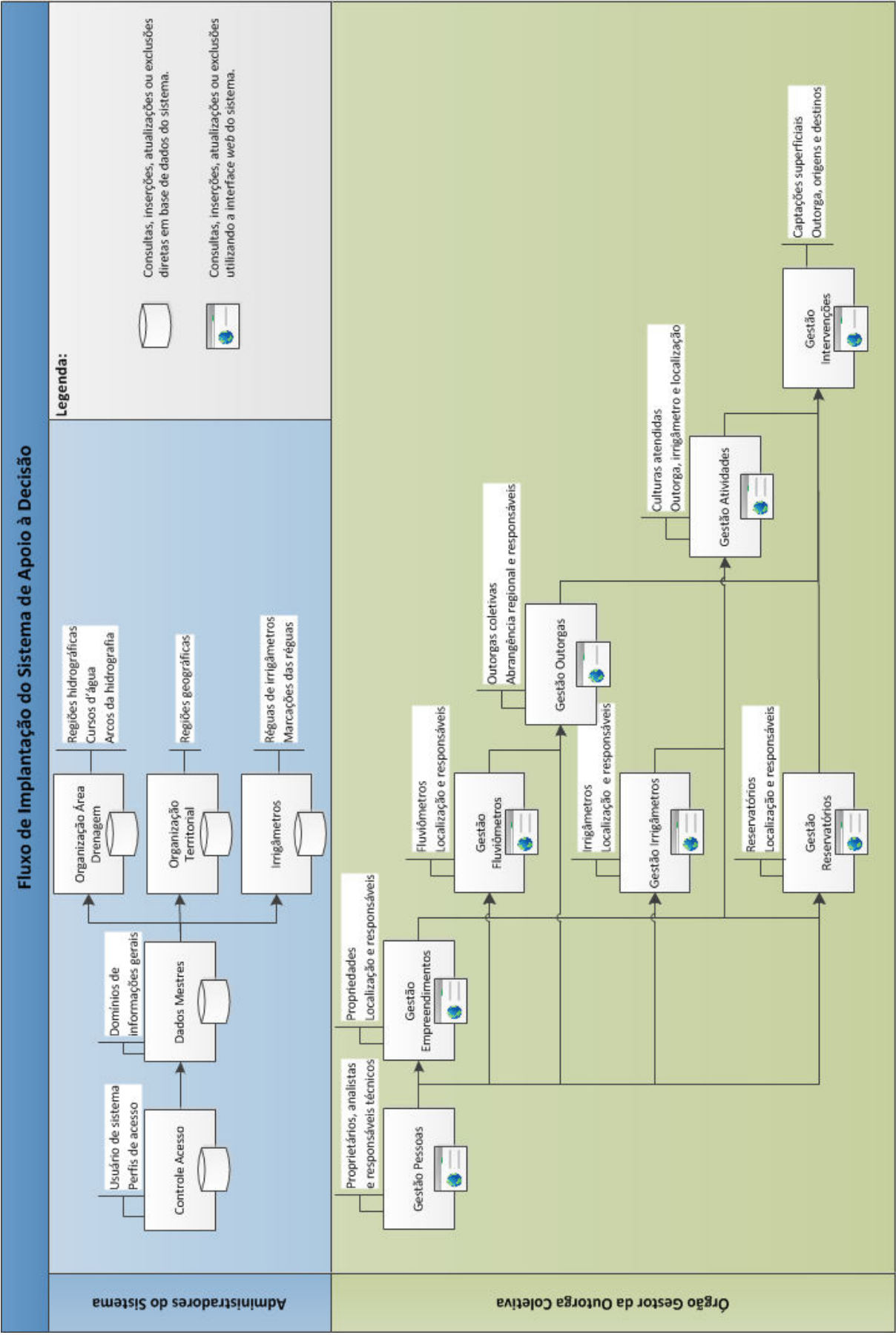
## APÊNDICE AB – Relatório de Reservatórios Gerado por Simulação

	Número	Data	Horário	Inicial (I)	Adicionado (I)	Subtraído (I)	Final (I)
Select	RESERVATORIO_01	12/10/2014	18:00 - 19:00	34404	0	11468	22936
Select	RESERVATORIO_01	12/10/2014	19:00 - 20:00	22936	0	11468	11468
Select	RESERVATORIO_01	12/10/2014	20:00 - 21:00	11468	0	11468	0
Select	RESERVATORIO_02	12/10/2014	18:00 - 19:00	20265	0	6755	13510
Select	RESERVATORIO_02	12/10/2014	19:00 - 20:00	13510	6755	6755	13510
Select	RESERVATORIO_02	12/10/2014	20:00 - 21:00	13510	0	6755	6755
Select	RESERVATORIO_03	12/10/2014	18:00 - 19:00	37662	0	12554	25108
Select	RESERVATORIO_03	12/10/2014	19:00 - 20:00	25108	0	12554	12554
Select	RESERVATORIO_03	12/10/2014	20:00 - 21:00	12554	0	12554	0
Select	RESERVATORIO_04	12/10/2014	18:00 - 19:00	20265	6755	0	27020
Select	RESERVATORIO_04	12/10/2014	19:00 - 20:00	27020	6755	0	33775
Select	RESERVATORIO_04	12/10/2014	20:00 - 21:00	33775	0	28072	5703
Select	RESERVATORIO_05	12/10/2014	18:00 - 19:00	17676	5892	6755	16813
Select	RESERVATORIO_05	12/10/2014	19:00 - 20:00	16813	5892	12647	10058
Select	RESERVATORIO_05	12/10/2014	20:00 - 21:00	10058	5892	12647	3303

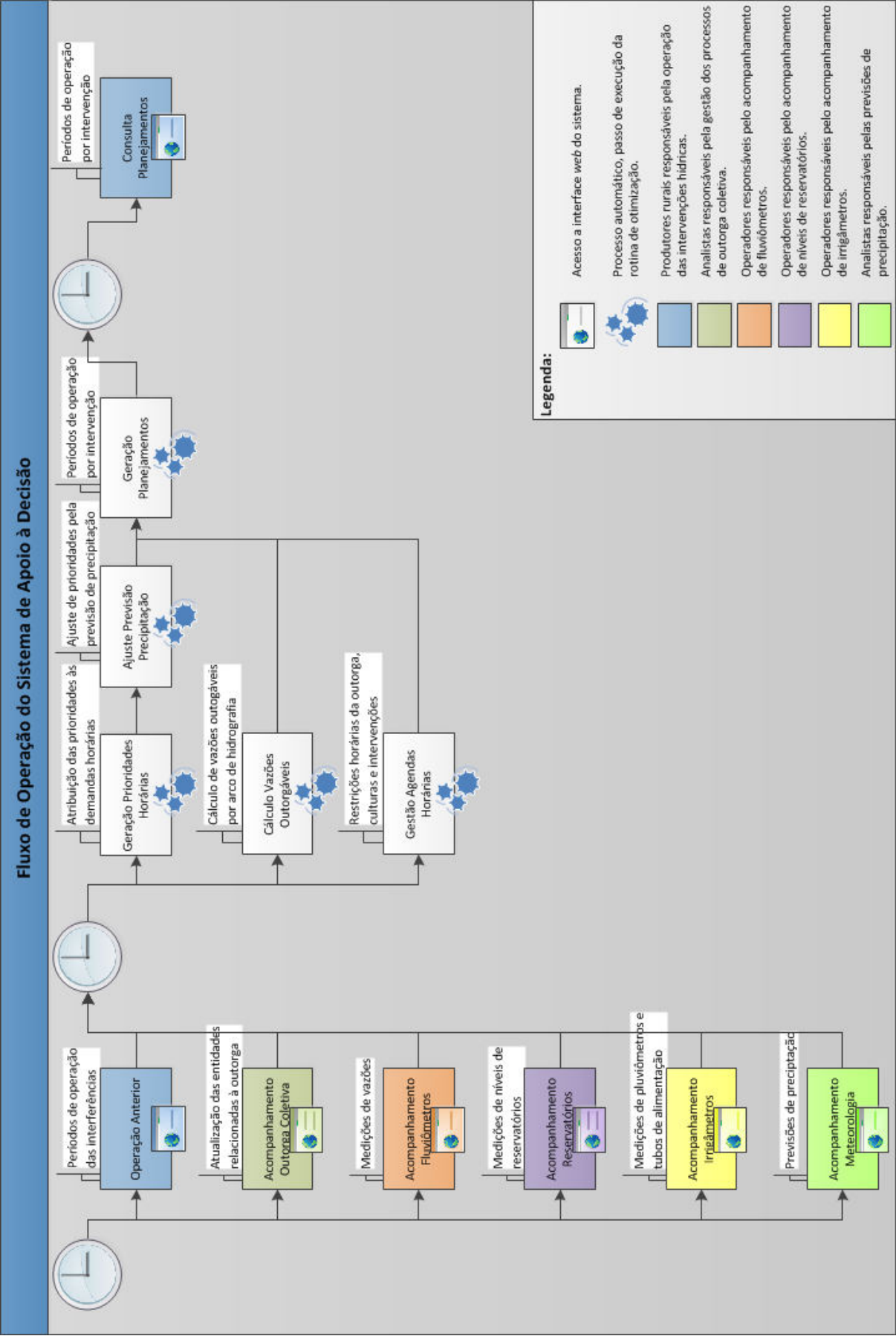
## APÊNDICE AC – Relatório de Intervenções Gerado por Simulação

	<u>Número</u>	<u>Tipo</u>	<u>Origem</u>	<u>Destino</u>	<u>Data</u>	<u>Horário</u>	<u>Vazão (l/h)</u>
Select	INTERVENÇÃO_01	CAC	ARCO_01	CULTURA_01	12/10/2014	18:00 - 19:00	12554
Select	INTERVENÇÃO_01	CAC	ARCO_01	CULTURA_01	12/10/2014	19:00 - 20:00	12554
Select	INTERVENÇÃO_03	CRC	RESERVATORIO_01	CULTURA_02	12/10/2014	18:00 - 19:00	11468
Select	INTERVENÇÃO_03	CRC	RESERVATORIO_01	CULTURA_02	12/10/2014	19:00 - 20:00	11468
Select	INTERVENÇÃO_03	CRC	RESERVATORIO_01	CULTURA_02	12/10/2014	20:00 - 21:00	11468
Select	INTERVENÇÃO_04	CAC	ARCO_02	CULTURA_03	12/10/2014	20:00 - 21:00	28072
Select	INTERVENÇÃO_05	CAR	ARCO_02	RESERVATORIO_02	12/10/2014	19:00 - 20:00	6755
Select	INTERVENÇÃO_06	CRC	RESERVATORIO_02	CULTURA_04	12/10/2014	18:00 - 19:00	6755
Select	INTERVENÇÃO_06	CRC	RESERVATORIO_02	CULTURA_04	12/10/2014	19:00 - 20:00	6755
Select	INTERVENÇÃO_06	CRC	RESERVATORIO_02	CULTURA_04	12/10/2014	20:00 - 21:00	6755
Select	INTERVENÇÃO_07	CAC	ARCO_03	CULTURA_05	12/10/2014	18:00 - 19:00	5892
Select	INTERVENÇÃO_07	CAC	ARCO_03	CULTURA_05	12/10/2014	19:00 - 20:00	5892
Select	INTERVENÇÃO_07	CAC	ARCO_03	CULTURA_05	12/10/2014	20:00 - 21:00	5892
Select	INTERVENÇÃO_09	CRC	RESERVATORIO_03	CULTURA_06	12/10/2014	18:00 - 19:00	12554
Select	INTERVENÇÃO_09	CRC	RESERVATORIO_03	CULTURA_06	12/10/2014	19:00 - 20:00	12554
Select	INTERVENÇÃO_09	CRC	RESERVATORIO_03	CULTURA_06	12/10/2014	20:00 - 21:00	12554
Select	INTERVENÇÃO_10	CAC	ARCO_04	CULTURA_07	12/10/2014	18:00 - 19:00	11468
Select	INTERVENÇÃO_10	CAC	ARCO_04	CULTURA_07	12/10/2014	19:00 - 20:00	11468
Select	INTERVENÇÃO_10	CAC	ARCO_04	CULTURA_07	12/10/2014	20:00 - 21:00	11468
Select	INTERVENÇÃO_12	CAR	ARCO_05	RESERVATORIO_04	12/10/2014	18:00 - 19:00	6755
Select	INTERVENÇÃO_12	CAR	ARCO_05	RESERVATORIO_04	12/10/2014	19:00 - 20:00	6755
Select	INTERVENÇÃO_13	CRC	RESERVATORIO_04	CULTURA_08	12/10/2014	20:00 - 21:00	28072
Select	INTERVENÇÃO_16	CAR	ARCO_05	RESERVATORIO_05	12/10/2014	18:00 - 19:00	5892
Select	INTERVENÇÃO_16	CAR	ARCO_05	RESERVATORIO_05	12/10/2014	19:00 - 20:00	5892
Select	INTERVENÇÃO_16	CAR	ARCO_05	RESERVATORIO_05	12/10/2014	20:00 - 21:00	5892
Select	INTERVENÇÃO_17	CRC	RESERVATORIO_05	CULTURA_09	12/10/2014	18:00 - 19:00	6755
Select	INTERVENÇÃO_17	CRC	RESERVATORIO_05	CULTURA_09	12/10/2014	19:00 - 20:00	6755
Select	INTERVENÇÃO_17	CRC	RESERVATORIO_05	CULTURA_09	12/10/2014	20:00 - 21:00	6755
Select	INTERVENÇÃO_18	CRC	RESERVATORIO_05	CULTURA_10	12/10/2014	19:00 - 20:00	5892
Select	INTERVENÇÃO_18	CRC	RESERVATORIO_05	CULTURA_10	12/10/2014	20:00 - 21:00	5892
Select	INTERVENÇÃO_19	CAC	ARCO_05	CULTURA_10	12/10/2014	18:00 - 19:00	5892

APÊNDICE AD – Fluxograma de Implantação do SAD



APÊNDICE AE – Fluxograma de Operação do SAD







## **ANEXOS**





## ANEXO A – Formulário de Cadastro de Usuários para Fins de Outorga Coletiva Utilizado pelo IEMA

	SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS											
<b>FORMULÁRIO XVI</b> <b>CADASTRO DE USUÁRIOS PARA FINS DE OUTORGA COLETIVA</b>												
<b>USUÁRIO</b>												
Nome do Usuário:												
<b>CARACTERIZAÇÃO DA CAPTAÇÃO<sup>(1)</sup></b>												
Coordenadas do ponto de captação <sup>(2)</sup>												
Coord E (m):	Coord N (m):											
Nome do corpo de água ( <i>rio, riacho, córrego, lago, etc.</i> ) <sup>(3)</sup> :		Município:										
Tipo de uso ou interferência: <input type="checkbox"/> Captação direta em corpo de água ( <i>rio, lagoa natural, etc.</i> ) <input type="checkbox"/> Captação em barramento <sup>(4)</sup> <input type="checkbox"/> Captação em poço escavado <sup>(5)</sup>		Captação de água já existente: <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim, Ano: _____										
Forma de captação:												
<input type="checkbox"/> Gravidade    Estrutura de derivação:												
<input type="checkbox"/> Recalque    Potência nominal (CV):												
Possui Medidor Múltipla Tarifação (Relógio Linha-Verde): <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não												
<p><sup>(1)</sup> Preencher um Formulário para cada bomba, exceto quando estiverem acopladas.</p> <p><sup>(2)</sup> Sistema de Coordenadas Planas UTM, Datum de referência WGS-84.</p> <p><sup>(3)</sup> No caso de poço escavado, informar o corpo de água superficial mais próximo.</p> <p><sup>(4)</sup> Preencher também a <i>Seção I – Dados de Barramento em corpo de água superficial</i>.</p> <p><sup>(5)</sup> Preencher também a <i>Seção II – Dados de Poço Escavado</i>.</p>												
<b>DADOS DA CAPTAÇÃO<sup>(6)</sup></b>												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Vazão												
Horas /												
Dias / Mês												
<p><sup>(6)</sup> Preencher somente os meses em que há captação, caso esta não ocorra em todos os meses do ano.</p>												
<b>DADOS DE IRRIGAÇÃO</b>												
Cultura irrigada	Área irrigada pela bomba:				Sistema de irrigação							
<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE A FORMA DE UTILIZAÇÃO DA BOMBA</b>												



SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE  
E RECURSOS HÍDRICOS



### SEÇÃO I : BARRAMENTO EM CORPO DE ÁGUA SUPERFICIAL

#### CARACTERIZAÇÃO DO BARRAMENTO

Barramento implantado: ( ) Não ( ) Sim, Ano: _____	Outro usuário utiliza o barramento: ( ) Não ( ) Sim
Captação realizada em barramento de terceiros: ( ) Não ( ) Sim	Nome do responsável pelo barramento <sup>(7)</sup> :

<sup>(7)</sup> Caso o requerente não seja o proprietário do barramento, apresentar anuência do proprietário autorizando a captação.

#### DADOS DO BARRAMENTO

Material da barragem: ( ) Terra ( ) Concreto ( ) Mista ( ) Outro:
Área inundada <sup>(8)</sup> (m <sup>2</sup> ):      Volume máximo <sup>(8)</sup> (m <sup>3</sup> ):      Volume mínimo <sup>(9)</sup> (m <sup>3</sup> ):

<sup>(8)</sup> Dados referentes ao nível de água máximo normal.

<sup>(9)</sup> Volume associado à cota mínima necessária para garantir o fluxo residual mínimo a jusante.

#### CONSIDERAÇÕES


### SEÇÃO II : POÇO ESCAVADO<sup>(10)</sup>

#### CARACTERIZAÇÃO DO POÇO ESCAVADO

Área do espelho d'água (m <sup>2</sup> ):	Profundidade(m):
Próximo à nascente: ( ) Não ( ) Sim, distância:      (metros)	
Próximo ao curso d'água: ( ) Não ( ) Sim, distância:      (metros)	
Possui estrutura de ligação com o curso de água (trincheira, canal, tubulação, etc. ): ( ) Não ( ) Sim	

<sup>(10)</sup> Poço raso com afloramento de lençol freático.

#### CONSIDERAÇÕES
