



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
CAMPUS II - CAMPINA GRANDE

ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO  
RESERVATÓRIO POÇO REDONDO E DETERMINAÇÃO DE INDICADORES DE  
DESEMPENHO DO RESERVATÓRIO E DO PERÍMETRO IRRIGADO

GABRIELA COELHO PEDREIRA

CAMPINA GRANDE

MARÇO-2005

---

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

---

**ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO  
RESERVATÓRIO POÇO REDONDO E DETERMINAÇÃO DE INDICADORES DE  
DESEMPENHO DO RESERVATÓRIO E DO PERÍMETRO IRRIGADO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**GABRIELA COELHO PEDREIRA**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**MARÇO DE 2005**

---

**GABRIELA COELHO PEDREIRA**

**ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO  
RESERVATÓRIO POÇO REDONDO E DETERMINAÇÃO DE INDICADORES DE  
DESEMPENHO DO RESERVATÓRIO E DO PERÍMETRO IRRIGADO**

Dissertação apresentada ao curso de pós-graduação  
em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade  
Federal de Campina Grande (UFCG), em  
cumprimento para obtenção do grau de Mestre.

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS**

**ORIENTADORES: ROSIRES CATÃO CURI**

**WILSON FADLO CURI**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**MARÇO 2005**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFPG

P371e  
2005      Pedreira, Gabriela Coelho  
            Estudo da otimização do uso dos recursos hídricos do reservatório Poço Redondo e determinação de indicadores de desempenho do reservatório e da área irrigada / Gabriela Coelho Pedreira. — Campina Grande: UFPG, 2005. 155f.: il. col.

Inclui Bibliografia.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) — Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande.

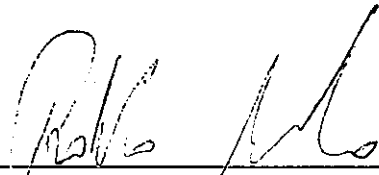
1— Recursos Hídricos-Planejamento 2— Recursos Hídricos-Otimização-Simulação I— Título

CDU 556.18.001.63

**ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO  
RESERVATÓRIO POÇO REDONDO E DETERMINAÇÃO DE INDICADORES DE  
DESEMPENHO DO RESERVATÓRIO E DO PERÍMETRO IRRIGADO**

**GABRIELA COELHO PEDREIRA**

**BANCA EXAMINADORA:**



---

**Prof. Dr. José Roberto Gonçalves de Azevedo (Examinador)**



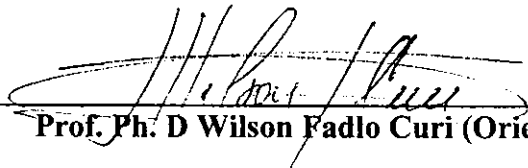
---

**Dr. Alcigeimes Batista Celeste (Examinador)**



---

**Prof. Ph. D Rosires Catão Curi (Orientadora)**



---

**Prof. Ph. D Wilson Fadlo Curi (Orientador)**

**CAMPINA GRANDE – PB**

**MARÇO DE 2005**

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, Anízio Costa Pedreira e M<sup>a</sup> Lourdes Coelho Pedreira por todo amor e incentivo, e a todas as pessoas que me ofereceram carinho e estímulo. Dedico-lhes esta conquista.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, em sua Trindade Santa, por me dar a vida, a força e oportunidade de aprimorar meus conhecimentos.

Aos meus pais Anízio e Lourdinha pelo incentivo e compreensão em mais uma etapa da minha vida.

A minhas irmãs, Luani e Taiana, minha sobrinha Vitória, meu cunhado Alessandro e todos meus familiares pelas constantes manifestações de apoio e carinho.

Aos professores Rosires Catão Curi e Wilson Fadlo Curi, pela orientação deste trabalho, paciência e ensinamentos transmitidos.

A minha turma de mestrado, Andréa Mota, Alysson Guimarães, Aracy Siqueira, Aurelubia Crismeri, Hugo Alcântara, Klécia Forte, Saulo de Tarso Bezerra, Marta Viviane Cabral e José Rosenilton Maracajá, por toda ajuda, companheirismo e amizade dispensadas a mim.

A Rejane Paz, Luiza Teixeira (Tia Isa), Alcidney Batista e Roberta Barbosa pela força, amizade e disposição em ajudar-me na elaboração do trabalho.

A Anne Raquel, Aretuza Rocha e Karina Guedes pelas amizades e descontrações.

Ao LMRS-PB, na pessoa de Alexandre Magno, pela disponibilização de informações para a pesquisa.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFCG, área de Recursos Hídricos.

A CAPES, pelo incentivo financeiro durante o curso.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica, Alrezinha, Aroldo, Ismael, Josete, Lindimar, Raulino, Ronaldo e Vera pelos serviços prestados.

E a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Muito Obrigada.

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>1.1.</b>	<b>OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>04</b>
<b>1.2.</b>	<b>OBJETIVO ESPECÍFICO.....</b>	<b>04</b>
<b>1.3.</b>	<b>ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....</b>	<b>05</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>06</b>
<b>2.1.</b>	<b>GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....</b>	<b>06</b>
<b>2.2.</b>	<b>SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS.....</b>	<b>07</b>
<b>2.3.</b>	<b>MODELOS DE SIMULAÇÃO.....</b>	<b>08</b>
<b>2.4.</b>	<b>MODELO DE OTIMIZAÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2.4.1.</b>	<b>PROGRAMAÇÃO LINEAR – PL.....</b>	<b>11</b>
<b>2.4.2.</b>	<b>PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR – PNL.....</b>	<b>13</b>
<b>2.5.</b>	<b>INDICADORES DE DESEMPENHO DE ÁREAS IRRIGADAS.....</b>	<b>14</b>
<b>2.5.1.</b>	<b>TAXA DE OCUPAÇÃO DA ÁREA IRRIGADA.....</b>	<b>15</b>
<b>2.5.2.</b>	<b>INDICADORES DO BALANÇO HÍDRICO.....</b>	<b>15</b>
<b>2.5.2.1.</b>	<b>FORNECIMENTO RELATIVO DE ÁGUA (FRA) E DE IRRIGAÇÃO (FRI).....</b>	<b>15</b>
<b>2.5.2.1.1.</b>	<b>FORNECIMENTO RELATIVO DE ÁGUA (FRA).....</b>	<b>16</b>
<b>2.5.2.1.2.</b>	<b>FORNECIMENTO RELATIVO DE IRRIGAÇÃO (FRI).....</b>	<b>17</b>
<b>2.5.2.2.</b>	<b>RAZÃO GLOBAL DE CONSUMO (RGC).....</b>	<b>17</b>
<b>2.5.2.3.</b>	<b>FORNECIMENTO MÉDIO DE ÁGUA (FMA).....</b>	<b>18</b>
<b>2.5.3.</b>	<b>INDICADORES DE DESEMPENHO DO RESERVATÓRIO.....</b>	<b>18</b>
<b>3.</b>	<b>DESCRIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.</b>	<b>ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.1.</b>	<b>LOCALIZAÇÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.2.</b>	<b>SOLOS.....</b>	<b>24</b>



3.1.3.	VEGETAÇÃO.....	25
3.2.	ASPECTOS CLIMÁTICOS.....	26
3.2.1.	TEMPERATURA MÉDIA MENSAL.....	26
3.2.3.	INSOLAÇÃO.....	27
3.2.4.	UMIDADE RELATIVA DO AR.....	27
3.2.5.	VELOCIDADE DO VENTO.....	27
3.2.6.	EVAPORAÇÃO E PRECIPITAÇÃO.....	28
3.3.	ASPECTOS HIDROLÓGICOS.....	29
3.3.1.	RIO PRINCIPAL.....	29
3.3.2.	BACIA HIDROGRÁFICA.....	29
3.3.3.	VAZÕES AFLUENTES.....	30
3.4.	ASPECTOS URBANOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DE CONTRIBUIÇÃO.....	30
3.4.1.	SANTANA DE MANGUEIRA.....	30
4.	MODELO DE OTIMIZAÇÃO.....	33
4.1.	GENERALIDADES.....	33
4.2.	ASPECTOS MATEMÁTICOS DO MODELO.....	34
4.2.1.	DA AGRICULTURA IRRIGADA.....	34
4.2.2.	DOS RESERVATÓRIOS E SEUS COMPONENTES.....	40
4.2.3.	OUTROS COMPONENTES DO SISTEMA.....	43
4.2.4.	ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DA OTIMIZAÇÃO.....	44
4.3.	FLUXOGRAMA DO MODELO.....	45
5.	MODELO DE SIMULAÇÃO.....	48
5.1.	TIPO DE SIMULAÇÃO.....	50
5.1.2.	SIMULAÇÃO CONTÍNUA.....	50
5.1.3.	PLANEJAMENTO TÁTICO.....	51
5.2.	OPÇÃO DE CÁLCULO.....	52
5.3.	DEFINIÇÕES GERAIS.....	52
5.4.	ENTRADA/EDIÇÃO DE DADOS.....	53
5.5.	RESULTADOS.....	54
6.	DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS E ENTRADA DE DADOS.....	56

<b>6.1.</b>	<b>PARA OS CENÁRIOS SERÃO CONSIDERADOS.....</b>	<b>57</b>
<b>6.2.</b>	<b>DADOS DE ENTRADA DOS MODELOS.....</b>	<b>61</b>
<b>6.2.1.</b>	<b>MODELO DE OTIMIZAÇÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>6.2.1.1.</b>	<b>PRECIPITAÇÃO.....</b>	<b>61</b>
<b>6.2.1.2.</b>	<b>VAZÃO AFLUENTE.....</b>	<b>62</b>
<b>6.2.1.3.</b>	<b>EVAPORAÇÃO.....</b>	<b>62</b>
<b>6.2.1.4.</b>	<b>ABASTECIMENTO URBANO.....</b>	<b>63</b>
<b>6.2.1.5.</b>	<b>IRRIGAÇÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>6.2.1.6.</b>	<b>AQUICULTURA.....</b>	<b>74</b>
<b>6.2.1.6.1.</b>	<b>PISCICULTURA EXTENSIVA.....</b>	<b>76</b>
<b>6.2.1.6.2.</b>	<b>PISCICULTURA INTENSIVA.....</b>	<b>77</b>
<b>6.2.1.6.3.</b>	<b>CARCINICULTURA.....</b>	<b>78</b>
<b>6.2.1.7.</b>	<b>DADOS DOS RESERVATÓRIOS.....</b>	<b>80</b>
<b>6.2.1.7.1.</b>	<b>RELAÇÕES COTA, ÁREA, VOLUME.....</b>	<b>80</b>
<b>6.2.1.7.2.</b>	<b>VAZÕES MÁXIMA E MÍNIMA.....</b>	<b>82</b>
<b>6.2.1.7.3.</b>	<b>DESCARREGADOR E VERTEDOR.....</b>	<b>82</b>
<b>6.2.2.</b>	<b>MODELO DE SIMULAÇÃO.....</b>	<b>83</b>
<b>7.</b>	<b>RESULTADOS E ANÁLISES.....</b>	<b>87</b>
<b>7.1.</b>	<b>RESULTADO DAS OTIMIZAÇÕES.....</b>	<b>87</b>
<b>7.1.1.</b>	<b>CENÁRIO MÉDIO.....</b>	<b>87</b>
<b>7.1.1.1.</b>	<b>CULTURAS PERENES NO CENÁRIO MÉDIO.....</b>	<b>88</b>
<b>7.1.1.2.</b>	<b>CULTURAS SAZONAIS NO CENÁRIO MÉDIO.....</b>	<b>90</b>
<b>7.1.1.3.</b>	<b>CULTURAS PERENES (FIXAS) E SAZONAIS NO CENÁRIO MÉDIO.....</b>	<b>93</b>
<b>7.1.2.</b>	<b>CENÁRIO SECO.....</b>	<b>97</b>
<b>7.1.2.1.</b>	<b>CULTURAS PERENES NO CENÁRIO SECO.....</b>	<b>98</b>
<b>7.1.2.2.</b>	<b>CULTURAS SAZONAIS NO CENÁRIO SECO.....</b>	<b>100</b>
<b>7.1.2.3.</b>	<b>CULTURAS PERENES (FIXAS) E SAZONAIS NO CENÁRIO SECO.....</b>	<b>103</b>
<b>7.1.3.</b>	<b>CENÁRIO MÉDIO UTILIZANDO ÁREA DAS CULTURAS PERENES DO CENÁRIO SECO (46 ha) .....</b>	<b>107</b>
<b>7.1.4.</b>	<b>CENÁRIOS PISCÍCULAS.....</b>	<b>111</b>
<b>7.1.5.</b>	<b>CONDIÇÃO INICIAL PARA OS CENÁRIOS MÉDIO E SECO.....</b>	<b>120</b>

7.2.	INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DA ÁREA IRRIGADA.....	130
7.3.	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO E ÍNDICES DE DESEMPENHO DO RESERVATÓRIO.....	134
8.	CONCLUSÕES.....	136
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	138
9.1.	BIBLIOGRAFIAS COMPLEMENTARES.....	147
9.2.	SITES VISITADOS.....	149
	ANEXOS.....	151

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 3.1:</b>	Temperatura Média Mensal (°C).....	<b>26</b>
<b>Tabela 3.2:</b>	Número Mensal Médio de Horas Diárias de Insolação.....	<b>27</b>
<b>Tabela 3.3:</b>	Médias Mensais da Umidade Relativa do Ar (%).....	<b>27</b>
<b>Tabela 3.4:</b>	Velocidade Média Mensal do Vento (m/s).....	<b>28</b>
<b>Tabela 3.5:</b>	Dados de evaporação média mensal (mm) para as estações de Coremas e São Gonçalo (Classe A e evaporímetro) e precipitação média em mm (método de Thissen).....	<b>29</b>
<b>Tabela 3.6:</b>	Dados fluvimétricos média diária mensal (m <sup>3</sup> /s).....	<b>30</b>
<b>Tabela 3.7:</b>	Projeção de demandas Urbanas, Rurais e Totais para o município de Santana de Mangueira – PB.....	<b>32</b>
<b>Tabela 4.1:</b>	Elementos de entrada para o modelo.....	<b>46</b>
<b>Tabela 6.1:</b>	Dados de pluviometria (mm) que foram utilizados na otimização dos Cenários.....	<b>61</b>
<b>Tabela 6.2:</b>	Dados de vazão afluente (m <sup>3</sup> /s) que foram utilizados na otimização dos Cenários.....	<b>62</b>
<b>Tabela 6.3:</b>	Lâmina (mm) de evaporação média mensal da estação São Gonçalo.....	<b>63</b>
<b>Tabela 6.4:</b>	Plano cultural para a irrigação.....	<b>70</b>
<b>Tabela 6.5:</b>	Coefficiente de cultivo das culturas adotadas nos perímetros.....	<b>70</b>
<b>Tabela 6.6:</b>	Dados das características culturas.....	<b>71</b>
<b>Tabela 6.7:</b>	Dados do sistema de irrigação aplicado às culturas.....	<b>72</b>
<b>Tabela 6.8:</b>	Média dos dados de sistema de irrigação e características das culturas que tiveram receita líquida positiva.....	<b>74</b>
<b>Tabela 6.9:</b>	Plano cultural com os coeficientes de cultivos médios (Kc) das culturas que tiveram receita líquida positiva.....	<b>74</b>
<b>Tabela 6.10:</b>	Dados da piscicultura intensiva.....	<b>77</b>
<b>Tabela 6.11:</b>	Sistema de Cultivo Comparativo.....	<b>78</b>
<b>Tabela 6.12:</b>	Dados de produtividade, preços, custos da carcinicultura.....	<b>79</b>
<b>Tabela 6.13:</b>	Dados da tomada d'água usados para a obtenção das vazões mensais liberadas pelo reservatório.....	<b>82</b>

<b>Tabela 6.14:</b>	Parâmetros adotados para a estimativa das vazões vertentes.....	<b>83</b>
<b>Tabela 6.15:</b>	Dados solicitados para a simulação.....	<b>86</b>
<b>Tabela 7.1:</b>	Resultado da otimização da área para as culturas perenes no cenário médio e dados hidrológicos.....	<b>88</b>
<b>Tabela 7.2:</b>	Resultados da piscicultura extensiva que foi otimizada contemplando as culturas perenes no cenário médio.....	<b>89</b>
<b>Tabela 7.3:</b>	Resultados da piscicultura extensiva que foi otimizada contemplando as culturas sazonais no cenário médio.....	<b>90</b>
<b>Tabela 7.4:</b>	Resultado da otimização das áreas das culturas sazonais no cenário médio e dados hidrológicos.....	<b>91</b>
<b>Tabela 7.5:</b>	Resultados referentes à RL auferida, área alocada na irrigação, mão de obra (em diárias) e período cultural da otimização das áreas das culturas sazonais.....	<b>92</b>
<b>Tabela 7.6:</b>	Resultado referente à piscicultura extensiva otimizada em conjunto com as culturas perenes (fixas) e sazonais no cenário médio.....	<b>93</b>
<b>Tabela 7.7:</b>	Resultado da otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área para as culturas perenes (fixas em 895 ha) no cenário médio e dados hidrológicos.....	<b>94</b>
<b>Tabela 7.8:</b>	Resultados referentes à RL auferida, área alocada na irrigação, mão de obra (em diárias) e período cultural da otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área para as culturas perenes (fixas em 895 ha).....	<b>95</b>
<b>Tabela 7.9:</b>	Resultados da piscicultura extensiva que foi otimizada em conjunto com as culturas perenes no cenário seco e HT de 1 ano e FVF em 70%.....	<b>98</b>
<b>Tabela 7.10:</b>	Resultados da otimização da área das culturas perenes para o cenário seco com HT de 1 ano e FVF em 70%.....	<b>99</b>
<b>Tabela 7.11:</b>	Resultados da otimização de áreas das culturas sazonais no cenário seco com HT de 1 ano FVF em 70%.....	<b>101</b>
<b>Tabela 7.12:</b>	Resultados da piscicultura extensiva que foi otimizada em conjunto com as culturas sazonais no cenário seco e HT de 1 ano e FVF em 70%.....	<b>101</b>
<b>Tabela 7.13:</b>	Resultados referentes à RL auferida, área alocada na irrigação, diárias e período cultural das otimizações de áreas das culturas sazonais com HT de 1 ano e FVF em 70%.....	<b>102</b>
<b>Tabela 7.14:</b>	Resultado referente à piscicultura extensiva otimizada contemplando a otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área das perenes - cenário seco com HT de 1 ano e FVF em 70%.....	<b>103</b>
<b>Tabela 7.15:</b>	Resultados da otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área das perenes - cenário seco com HT de 1 ano com FVF em 70%.....	<b>104</b>
<b>Tabela 7.16:</b>	Resultados referentes à RL auferida, área alocada na irrigação, mão de obra (em diárias) e período cultural da otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área das perenes (fixas em 46ha) - cenário seco com HT de 1 ano e FVF em 70%.....	<b>105</b>
<b>Tabela 7.17:</b>	Resultados da otimização das áreas das culturas sazonais na qual se fixou área para as culturas perenes em 46 ha no cenário médio.....	<b>107</b>
<b>Tabela 7.18:</b>	Resultado referente à piscicultura extensiva otimizada em conjunto com as culturas perenes (fixas em 46 ha) e sazonais no cenário médio.....	<b>108</b>

<b>Tabela 7.19:</b>	Resultados referentes à RL auferida, área alocada na irrigação, mão de obra (em diárias) e período cultural da otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área das culturas perenes (fixas em 46 ha) - cenário médio.....	109
<b>Tabela 7.20:</b>	Resultados da otimização para a piscicultura extensiva não contemplando a irrigação.....	112
<b>Tabela 7.21:</b>	Receita líquida auferida, mão de obra, produção e área mínima alocada para a piscicultura extensiva.....	113
<b>Tabela 7.22:</b>	Resultados da otimização para a piscicultura intensiva + extensiva não contemplando a irrigação.....	114
<b>Tabela 7.23:</b>	Receita líquida auferida, mão de obra, produção e área mínima alocada para as pisciculturas intensiva + extensiva.....	115
<b>Tabela 7.24:</b>	Resultados da otimização para a carcinicultura + piscicultura extensiva não contemplando a irrigação.....	116
<b>Tabela 7.25:</b>	Receita líquida auferida, mão de obra, produção e área mínima alocada para a carcinicultura + piscicultura extensiva.....	117
<b>Tabela 7.26:</b>	Resultados da otimização para a piscicultura intensiva + carcinicultura + piscicultura extensiva + irrigação.....	119
<b>Tabela 7.27:</b>	Receita líquida auferida, mão de obra, produção e área mínima alocada para a piscicultura intensiva + carcinicultura + piscicultura extensiva + irrigação.....	120
<b>Tabela 7.28:</b>	Volumes mensais para verificar os efeitos das condições iniciais de cada mês.....	121
<b>Tabela 7.29:</b>	Resultados da otimização que se iniciou com volume igual a 31,694 hm <sup>3</sup> (mês de Setembro - MCM).....	122
<b>Tabela 7.30:</b>	Refeitas líquidas (RL) auferidas e áreas alocadas para irrigação do MCM (setembro).....	123
<b>Tabela 7.31:</b>	Resultados referentes à piscicultura extensiva para o MCM.....	124
<b>Tabela 7.32:</b>	Resultados da otimização que se iniciou com volume igual a 30,516 hm <sup>3</sup> (mês de Outubro – MCSM – FVF em 70%).....	125
<b>Tabela 7.33:</b>	Refeitas líquidas (RL) auferidas e áreas alocadas para irrigação do MCSM – FVF em 70% (outubro).....	126
<b>Tabela 7.34:</b>	Resultados referentes à piscicultura extensiva para o MCSM – FVF em 70%.....	127
<b>Tabela 7.35:</b>	Resultados da otimização que se iniciou com volume igual a 31,694 hm <sup>3</sup> (mês de setembro) para o cenário médio com área fixa em 46 ha para as culturas perenes.....	128
<b>Tabela 7.36:</b>	Refeitas líquidas (RL) auferidas, áreas alocadas para irrigação e diárias do cenário médio com área para as culturas perenes fixas em 46 ha.....	129
<b>Tabela 7.37:</b>	Resultados referentes à piscicultura extensiva para o cenário médio com área para as culturas perenes fixas em 46 ha.....	129
<b>Tabela 7.38:</b>	Resultados referente aos indicadores de desempenho da área irrigada para o melhor cenário médio (MCM - setembro).....	130
<b>Tabela 7.39:</b>	Resultados referentes aos indicadores de desempenho da área irrigada para o melhor do cenário seco dos melhores (MCSM - outubro).....	132

<b>Tabela 7.40:</b>	Resultados referentes aos indicadores de desempenho da área irrigada para o cenário médio com área das culturas perenes fixas em 46 ha (setembro).....	<b>133</b>
<b>Tabela 7.41:</b>	Confiabilidade, Resiliência, vulnerabilidade obtidas para os 3 cenários.....	<b>134</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 3.1:</b>	Localização do Reservatório Poço Redondo e sua respectiva Bacia Hidrográfica.....	23
<b>Figura 3.2:</b>	Localização do município de Santana de Mangueira – PB.....	31
<b>Figura 4.1:</b>	Fluxograma para o modelo.....	47
<b>Figura 5.1:</b>	Interface do ACQUANET.....	49
<b>Figura 5.2:</b>	Tela de definições gerais do AQUANET.....	53
<b>Figura 5.3:</b>	Entrada/edição de dados do reservatório.....	53
<b>Figura 6.1:</b>	Fluxograma representativo dos cenários.....	59
<b>Figura 6.2:</b>	Guia de definições gerais para entrada de dados no modelo ACQUANET.....	84
<b>Figura 6.3:</b>	Interface do sistema estudado.....	85
<b>Figura 7.1:</b>	Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário médio durante a otimização da área para as culturas perenes.....	89
<b>Figura 7.2:</b>	Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário médio durante a otimização das áreas das culturas representativa das sazonais.....	91
<b>Figura 7.3:</b>	Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário médio durante a otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área para as culturas perenes (fixas em 895 ha).....	94
<b>Figura 7.4:</b>	Comparação entre as RL auferida para as culturas perenes, sazonais e perenes (fixas em 895 ha) e sazonais no cenário médio.....	95
<b>Figura 7.5:</b>	Área alocada na irrigação para as culturas perenes, sazonais e perenes (fixa 895 ha) e sazonais no cenário médio.....	96
<b>Figura 7.6:</b>	Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário seco para culturas perenes com FVF de 70% e HT de 1 ano.....	99
<b>Figura 7.7:</b>	Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário seco para culturas sazonais com FVF em 70% e HT de 1 ano.....	102
<b>Figura 7.8:</b>	Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário seco para culturas perenes (fixa em 46 ha) e sazonais com FVF em 70% e HT de 1 ano.....	104
<b>Figura 7.9:</b>	Comparação entre as RL para culturas perenes, sazonais e perenes (áreas fixas em 46 ha) e sazonais com FVF de 70% (cenário seco-HT 1 ano).....	105
<b>Figura 7.10:</b>	Comparação entre as áreas irrigadas para culturas perenes, sazonais e perenes (áreas fixas em 46 ha) e sazonais com FVF de 70% (cenário seco-HT 1 ano).....	106
<b>Figura 7.11</b>	Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário médio para culturas perenes (fixa em 46 ha) e sazonais.....	108
<b>Figura 7.12</b>	Receita líquida auferida para culturas perenes (áreas fixas em 46 ha) e sazonais - Cenário Médio.....	109



<b>Figura 7.13:</b>	Áreas alocadas para a irrigação das culturas perenes (áreas fixas em 46 ha) e sazonais com Cenário Médio.....	110
<b>Figura 7.14:</b>	Comportamento do reservatório nas otimizações da piscicultura extensiva não contemplando irrigação.....	113
<b>Figura 7.15:</b>	Comportamento do reservatório nas otimizações das pisciculturas intensiva + extensiva não contemplando irrigação.....	115
<b>Figura 7.16:</b>	Comportamento do reservatório nas otimizações da carcinicultura + piscicultura extensiva não contemplando a irrigação.....	117
<b>Figura 7.17:</b>	Comportamento do reservatório nas otimizações da piscicultura intensiva + carcinicultura + piscicultura extensiva + irrigação.....	119
<b>Figura 7.18:</b>	Comportamento do reservatório Poço Redondo no MCM em que o volume inicial foi o referente ao mês de Setembro.....	123
<b>Figura 7.19:</b>	Comportamento do reservatório Poço Redondo no MCSM - FVF em 70% em que o volume inicial foi o referente ao mês de Outubro.....	126
<b>Figura 7.20:</b>	Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário médio e área das culturas perenes fixa em 46 ha, volume inicial referente ao mês de Setembro.....	128
<b>Figura 7.21:</b>	Índices de desempenho para os cenários estudados.....	134

## RESUMO

É desejável que ocorra um planejamento e o gerenciamento para o uso da água de reservatórios que estão inseridos na região do semi-árido, devido a construções de reservatório à montante dos mesmos, afetando os afluxos ao mesmo, e do aumento da população e atividades econômicas que dependem de água. Dentre os inúmeros reservatórios que compõem as reservas hídricas do Estado da Paraíba, destaca-se o reservatório Poço Redondo, representante típico de reservatórios de médio porte da região semi-árida. Este trabalho tem por objetivo promover um planejamento de uso otimizado do reservatório Poço Redondo, estabelecendo diretrizes que proporcionem um melhor aproveitamento, controle e conservação de suas águas, associando os “riscos” de desatendimento das demandas ao cálculo dos indicadores de desempenho do reservatório, confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade. Além disso, procura-se avaliar o desempenho da área irrigada por meio dos indicadores como taxa de ocupação da área irrigada, fornecimento relativo de água (FRA), razão global de consumo (RGC), fornecimento médio de água (FMA) e fornecimento relativo de irrigação (FRI). O trabalho mostrou que é importante realizar estudos que visem otimizar o uso das águas dos reservatórios que estão no semi-árido bem como determinar riscos de desatendimento das demandas, por trazerem informações sobre as suas capacidades de atenderem as demandas para abastecimento, agricultura irrigada e aqüicultura.

## ABSTRACT

Optimal planning and management policy studies for reservoir water use, within semiarid regions, are necessary due the construction of other upstream reservoirs, which affects the reservoir inflows, and the population and water related economic activities growth. The Poço Redondo reservoir, a typical midi size reservoir chosen among the other ones at the Piancó River basin, within the semiarid region of Paraíba state, has been chosen to perform such a study. Therefore, the objective of this work is to optimize the water use of the Poço Redondo reservoir while looking for the sustainability of the system and determining performance indexes about water supply risks; such as reliability, resilience and vulnerability; and irrigation performance; such as tax of occupation of the irrigated area, relative water supply (FRA), relative irrigation water supply (FRI), average water supply (FMA) and global consumption rate (RGC). The results have shown to be important to carry out such studies because they are able to bring informations about their capacity to meet the water requirement of urban water supply, irrigation and fishing activities.

## 1. INTRODUÇÃO

Os recursos naturais são indispensáveis à vida dos seres vivos. A água constitui-se num bem absolutamente necessário e essencial para a sobrevivência do homem, que dela depende tanto para existir quanto para satisfazer suas necessidades sociais e econômicas (MACHADO, 2003).

Em escala mundial, o consumo de água tem crescido mais que o dobro do aumento populacional e, em algumas regiões, já é notória a escassez crônica de recursos hídricos, estimando-se que cerca de 25.000 pessoas morrem por dia devido à escassez, à contaminação ou ao manejo incorreto das águas (ANDRADE, 2000). A crescente demanda dos recursos hídricos e as alterações qualitativas que a água sofre, impostas pela natureza ao longo das transformações, devido ao ciclo hidrológico e às interferências do homem, trazem algumas limitações ao uso da água.

O conhecimento dos recursos hídricos atuais em termos quantitativos e qualitativos bem como das necessidades futuras é fundamental para o estabelecimento de uma política de gestão e implementação de medidas de aumento da oferta da água.

O planejamento e a gestão dos recursos hídricos no semi-árido se tornam cada vez mais indispensáveis frente ao aumento das populações e das atividades econômicas, no contexto moderno do desenvolvimento sustentável. Por isto, deve ser levada em consideração a defesa da qualidade da água, sem a qual não há possibilidade do uso adequado. O planejamento e a gestão dos recursos hídricos visto as suas relações com outras atividades econômicas, sociais e o manejo ambiental, devem-se integrar necessariamente ao planejamento global sob uma ótica de otimização.

Em regiões semi-áridas, caso do Nordeste do Brasil, o gerenciamento racional e otimizado da água passa a ser absolutamente imprescindível face às peculiaridades climáticas e ambientais, que condicionam as atividades humanas e o desenvolvimento social da região (VIEIRA, 1996). Essas regiões apresentam características climáticas bem definidas, como: altas taxas de evaporação, chuvas bastante irregulares a nível espaço-temporal e baixos índices pluviométricos comparado com o resto do Brasil. Uma das formas encontradas de abrandar a irregularidade hídrica das regiões semi-áridas é a construção de reservatórios de acumulação superficial, os quais não solucionam totalmente o problema da carência de água, em razão das altas taxas evaporativas da região e da aleatoriedade das vazões afluentes, tornando seu uso mais conservador.

Os grandes investimentos para implantação de novas obras, os altos custos com desapropriações, re-alocação de população e os impactos ambientais são os principais fatores negativos dessa prática; sem falar que algumas bacias hidrográficas já estão no limite da disponibilidade hídrica superficial. Tem sido comum a construção de reservatórios de acumulação com vazões afluentes muito reduzidas em razão de excessiva construção de reservatórios a montante. A grande maioria destes reservatórios, principalmente os de médio porte, apesar de aumentarem a oferta hídrica na região, são usados prioritariamente para satisfazer as necessidades de abastecimento urbano e dessedentação dos animais. No entanto, o potencial de uso econômico das suas águas é desconhecido em razão da inexistência de estudos que verifiquem a viabilidade de tais usos, bem como as condições para as quais estes reservatórios estariam ou não aptos a atenderem demandas para geração de renda e emprego, tais como agricultura irrigada e piscicultura intensiva e extensiva.

Portanto, em face do exposto, uma solução para minimizar o problema de escassez hídrica em regiões semi-áridas que já dispõem de um grande número de reservatórios de acumulação é priorizar uma melhor gestão dos mananciais existentes. Através de um planejamento, otimizando do uso das águas destes reservatórios, pode-se estabelecer diretrizes que proporcionem um melhor aproveitamento, controle e conservação de suas águas, bem como associar o “risco” de desatendimento hídrico às demandas através de indicadores de desempenho do reservatório.

A Bacia do Rio Piancó é uma das mais importantes do estado da Paraíba por conter a maior reserva hídrica do estado (Sistema Coremas - Mãe d'Água). A bacia está localizada numa região semi-árida, e como em toda região semi-árida que tem forte carência de água, a

bacia do Rio Piancó é fonte de diversos conflitos pelo uso da água. Um dos principais problemas da região em estudo é a escassez dos recursos hídricos devido a crescente demanda de água e a multiplicidade de seu uso. Outro grande conflito de uso é com o vizinho estado do Rio Grande do Norte com a questão da vazão liberada pelo sistema para perenização do Rio Piranhas - Açú. Tal conflito é gerado porque o Rio Piancó é de domínio estadual, pois encontra-se totalmente dentro de território paraibano, cabendo, neste caso, ao estado da Paraíba legislar sobre os seus recursos hídricos. Entretanto, o sistema de reservatório Coremas - Mãe d'Água é de domínio da União, construído pelo DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra a Seca) e, portanto, cabe ao governo federal legislar sobre o uso de águas desse sistema.

Por esta bacia ser importante para o estado da Paraíba e fonte de conflitos de uso da água, torna-se necessária estudá-la, para melhor compreender o potencial de uso das suas águas. Neste sentido, o estudo da disponibilidade hídrica dos seus reservatórios reveste-se da maior importância, no sentido de melhor gerenciar os seus recursos. Além disso, a água acumulada em pequenos e médios reservatórios em regiões de alta evaporação, tende a ficar vulnerável ao processo de salinização. Portanto, torna-se necessário que suas águas sejam usadas não só de modo a atender ao abastecimento da população em anos normais e de seca, mas também que os reservatórios devam ter uma política de operação com vistas a redução do processo de salinização e sirvam de fomento das atividades econômicas geradoras de renda como a irrigação e a piscicultura.

Dentre os reservatórios que compõem as reservas hídricas a montante do Sistema Coremas - Mãe d'Água existem 24 reservatórios, de pequeno e médio porte, que atualmente servem apenas prioritariamente para o abastecimento de pequenos municípios e alguns perímetros irrigados, além de contribuírem através de vertimentos, quando ocorrem no período chuvoso, para parcial alimentação do sistema. Dos reservatórios a montante, destaca-se o reservatório de Poço Redondo como reservatório típico por representar bem, com relação as suas características e uso de água, os reservatórios de médio porte de região semi-árida. Atualmente, tal reservatório ainda está em construção e suas águas terão a finalidade exclusiva de atender o perímetro irrigado Poço Redondo (com área de 500 ha) que já está projetado, podendo ainda contribuir com demandas para abastecimento urbano da cidade de Santana de Mangueira - PB. Neste trabalho será considerada a conclusão do reservatório Poço Redondo com capacidade máxima de acumulação de 62,75 hm<sup>3</sup>.

### **1.1. OBJETIVO GERAL**

O trabalho tem por objetivo pesquisar a viabilidade do uso otimizado dos recursos hídricos do reservatório Poço Redondo para múltiplos usos, preservando prioritariamente o abastecimento doméstico e dessedentação de animais e determinar os indicadores de desempenho do reservatório e da área irrigada.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Dentre os objetivos específicos, podem ser citados:

- Determinar os volumes mensais a serem alocados para cada uso, o estado do reservatório a cada mês, bem como os ganhos financeiros anuais médios com agricultura irrigada, carcinicultura e piscicultura intensiva e extensiva;
- Verificar qual deve ser a área máxima a ser plantada com culturas perenes;
- Avaliar como o sistema se comporta, em termos de operação ótima, com relação aos benefícios sociais, como a geração de emprego;
- Observar a ocorrência de falhas para atendimento às demandas.

### 1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho foi desenvolvido em nove capítulos:

**CAPÍTULO 1, INTRODUÇÃO:** neste capítulo há uma explanação sobre a situação da água no planeta, o planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, a problemática no Nordeste Brasileiro e ainda sobre os objetivos do trabalho;

**CAPÍTULO 2, REVISÃO DE LITERATURA:** apresentam-se neste capítulo uma descrição de trabalhos existentes sobre a gestão de sistemas de recursos hídricos, aplicações de modelos de simulação e de otimização e definições sobre indicadores de desempenho do reservatório e da área irrigada;

**CAPÍTULO 3, DESCRIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO:** descreve-se a região em estudo e seus aspectos fisiográficos, climáticos, hidrológicos e urbanos;

**CAPÍTULO 4, MODELO DE OTIMIZAÇÃO:** apresenta o modelo otimização ORNAP, que foi empregado neste estudo;

**CAPÍTULO 5, MODELO DE SIMULAÇÃO:** este capítulo explica o modelo de simulação ACQUANET, utilizado neste trabalho;

**CAPÍTULO 6, DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS E ENTRADA DE DADOS:** definição dos cenários que serão trabalhados e suas considerações, mostra a entrada de dados dos modelos de otimização e simulação;

**CAPÍTULO 7, RESULTADOS E ANÁLISES:** apresenta todos os resultados otimizados, os resultados da simulação, os cálculos dos indicadores e as análises desses resultados;

**CAPÍTULO 8, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES:** apresenta as idéias conclusivas e algumas recomendações;

**CAPÍTULO 9, REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:** este capítulo apresenta as bibliografias utilizadas, bem com os sites pesquisados.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Devido ao rápido crescimento populacional e a expansão industrial, é crescente pressão da sociedade em relação à oferta e à qualidade da água. A oferta de água é cada vez mais escassa e cara e requer medidas que garantam ou pelo menos melhorem o padrão e a qualidade de vida dos cidadãos (BRAGA *et al.*, 2004).

No passado, os problemas de oferta de água eram resolvidos com a sua simples expansão, cada vez menos viável, visto que as melhores fontes de oferta já estão sendo exploradas e os custos marginais de novas fontes estão cada vez mais caros financeira, econômica e ambientalmente. Devido aos elevados custos envolvidos no aproveitamento de novas fontes, uma grande parte da demanda futura de água deverá ser atendida pela redução dos desperdícios e pela maior eficiência dos usos atuais. Em países em desenvolvimento isto só será conseguido através de uma completa reforma nas políticas atuais de uso de água (SALATI *et al.*, 1999; BRASIL, 2000; SILVA, 1996). Desta forma, fica claro que a melhor alternativa para aumentar a disponibilidade de água é aprender como gerenciar a demanda de água mais eficientemente (SCHURINGA, 2001; TATE, 2001).

No Brasil, o novo modelo de gestão de recursos hídricos inclui o planejamento e o gerenciamento da oferta e da demanda. O gerenciamento da oferta procura manter a sustentabilidade da bacia hidrográfica, preservando-a ambientalmente, de modo que possa continuar “produzindo” água sustentavelmente (BRAGA *et al.*, 2004).

O caráter de múltiplos usos da água tornou-a um recurso valioso como insumo econômico e, na sua escassez, pode gerar inúmeros conflitos entre diferentes usuários. Neste contexto torna-se imprescindível a gestão integrada do uso, controle e conservação desses recursos, a fim de minimizar os conflitos de uso e promover o desenvolvimento sustentável da região.

Segundo Lanna (1993), a gestão dos recursos hídricos é uma atividade complexa de natureza multidisciplinar e intersetorial, onde destacam-se duas atividades, o gerenciamento e o planejamento, que devem integrar de forma contínua, permanente e dependente.

O planejamento dos recursos hídricos, parte integrante da gestão, busca a eficiência econômica e a flexibilidade operacional, de forma a adequar e conciliar as intervenções humanas aos sistemas de recursos hídricos. No processo de planejamento do uso dos recursos hídricos deve-se levar em consideração dois tipos de usos de água: os conflitantes, os quais concorrem pelo mesmo recurso, uso agrícola e abastecimento urbano e os complementares, nos quais uns geram recursos para outros, como é o caso de geração hidrelétrica e regularização de vazões (OLIVEIRA, 1998).

## 2.2. SISTEMAS DE RECURSOS HÍDRICOS

A análise de sistemas de recursos hídricos pode ser definida como o conjunto de princípios e métodos usados na análise do comportamento e estrutura de sistemas complexos. O termo sistema, nesse contexto, refere-se a um conjunto de elementos inter-relacionados, os quais podem ter natureza social ou natural, física, concreta ou abstrata, existente ou planejada, estática ou dinâmica, etc., e que, em geral, é de natureza interdisciplinar. A análise de sistemas é uma ciência que usa métodos para definir os vários elementos do sistema, distingui-los do meio ambiente, representá-los e otimizar sua estrutura e comportamento (SANTOS *et al.*, 2004).

Definições de alguns termos que são bastante utilizados na área de análise de sistema:

- Sistema é definido como sendo o conjunto de elementos ou componentes interconectados de uma maneira organizada que interagem entre si, de modo a poder reagir com o seu meio ambiente;
- Modelo é uma representação do comportamento do sistema;
- Fenômeno é o processo físico que produz alterações de estado no sistema;
- Variável assume valores que descreve quantitativamente um fenômeno podendo variar no espaço e no tempo; e
- Parâmetro é o valor que caracteriza sistema.

Várias técnicas para análise de sistemas e escolha de alternativas ótimas podem ser usadas, sendo as mais conhecidas: a simulação computacional, a programação linear, a programação não-linear dentre outras. O número de variações existentes na literatura é bastante extenso. A simulação, por outro lado, é a técnica mais largamente utilizada na prática, e apesar de não ser otimizante, proporciona meios para tratamento detalhado do comportamento de sistemas (BRAGA, 1987 apud PEIXOTO).

### 2.3. MODELO DE SIMULAÇÃO

Basicamente as técnicas para análise de sistemas de recursos hídricos podem ser agrupadas em: técnicas de simulação e técnicas de otimização (LOUCKS *et al.*, 1981). Os modelos de simulação procuram oferecer uma representação do mundo real através da realidade computacional com o objetivo de permitir a geração e a análise de alternativas, antes da implementação de qualquer uma delas. Por isso, fornecem, ao planejador, um grau de liberdade e flexibilidade considerável com relação ao processo da tomada de decisão. Hall & Dracup (1970) e Loucks *et al.* (1981) definem simulação como um conjunto de expressões matemáticas estruturadas em uma seqüência lógica que descreve a operação do sistema no espaço e no tempo. Assim, a simulação procura representar um sistema em seus aspectos importantes. Um modelo de simulação não determina, por exemplo, a política ótima de um sistema de reservatórios. A partir da definição da política de operação a ser seguida, o modelo de simulação permite o acompanhamento dos níveis dos reservatórios e de outras variáveis pertinentes ao longo do tempo. Até pouco tempo atrás, os modelos de simulação tinham uma importante vantagem em relação aos de otimização, que era a de que o modelo de simulação,

apesar de não garantir uma solução ótima, podia ser aplicado em complexos sistemas de recursos hídricos. No entanto, atualmente, os modelos de otimização são interligados aos de simulação, permitindo informações ótimas sobre diversos cenários.

Diversos pesquisadores têm-se utilizado de modelos de simulação para estudar os sistemas de recursos hídricos sob as mais diversas óticas.

Loucks & Dorfman (1975) compararam e avaliaram várias regras de decisão linear usadas em modelos probabilísticos restritos para estimativa eficiente de políticas de operação e capacidade de reservatório. Foi assumido neste estudo que, em alguns casos, estes modelos probabilísticos restritos podem ser apropriados para a aproximação preliminar de projetos e alternativas da política operacional. Várias regras específicas foram usadas para desenvolver e resolver modelos de problemas de reservatórios simples. Para avaliar o desempenho de cada regra de decisão, utilizaram técnicas de simulação.

Martin (1983) desenvolveu um procedimento computacional que resolve o problema da operação, em período longo de tempo, de um sistema de recursos hídricos a fim de atender os objetivos de abastecimento de água, manutenção da vazão e geração de energia hidroelétrica, enquanto satisfazendo as restrições operacionais do sistema. O algoritmo, como codificado nos programas AL-V e SIM-V, foi aplicado a um sistema em grande escala de 27 reservatórios nos Rios Red, White e Arkansas, nos EUA.

Cunningham & Amend (1986) apresentaram uma simulação computacional interativa como uma ferramenta de suporte a decisão para treinamento de operadores de sistemas de recursos hídricos complexos, a fim de definirem uma política operacional efetiva. Além disso, os pesquisadores discutiram a inter-relação entre simulação interativa e técnicas tradicionais de modelagem de sistemas quantitativos.

Segundo Barth (1987), a grande aplicação dos modelos de simulação em recursos hídricos tem sido na área do dimensionamento e operação de reservatórios múltiplos. Notadamente, quando se deseja levar em conta a aleatoriedade das seqüências de vazões afluentes e eventuais correlações cruzadas entre postos em uma bacia, o enfoque mais utilizado na prática tem sido a simulação.

Maia & Vilella (2001) aplicaram o modelo de simulação em tempo real OPERRES na Bacia do Paraguaçu, no estado da Bahia, onde localiza-se o reservatório de Pedra do Cavallo,

responsável pelo abastecimento de 57% da Região Metropolitana de Salvador. O modelo fornece informações sobre a disponibilidade hídrica do sistema de múltiplos reservatórios, em função de restrições vinculadas aos volumes armazenados.

O MODSIM desenvolvido na Colorado State University por Labadie *et al.* (1984), é essencialmente um modelo de simulação que permite fazer a otimização aplicada individualmente para cada mês, da alocação de água via modelo de rede de fluxo. Foi utilizado por Azevedo *et al.* (1998) na Bacia do Rio Piracicaba. Conforme os autores, a capacidade de combinar simulação e otimização é um dos pontos fortes do MODSIM em relação aos outros modelos. O MODSIM inclui a capacidade de otimizar, para cada mês, a operação de sistemas mediante a utilização de um algoritmo de rede de fluxo denominado “out of kilter”. Trata-se essencialmente de um algoritmo de programação linear desenvolvido para a solução de problemas de otimização de rede de fluxo (LIMA, 2004).

O MODSIM tem sido foco de pesquisa do *Laboratório de Sistema de Suporte a Decisão* da Escola Politécnica da USP, na área de desenvolvimento de técnicas de análise de sistemas de recursos hídricos. As adaptações realizadas no modelo e principalmente seu uso nos mais variados sistemas de recursos hídricos e nas mais diversificadas regiões do país, indicam que o modelo constitui-se em uma ferramenta extremamente útil na análise de alocação da água em bacias complexas (PORTO, 1997 e 1999; SOUZA FILHO & PORTO, 1997; AZEVEDO *et al.*, 1997; AZEVEDO *et al.*, 1998; PORTO *et al.*, 1999; ROBERTO & PORTO, 1999 e 2001).

## 2.4. MODELO DE OTIMIZAÇÃO

As respostas para os problemas de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos que buscam a escolha de melhor alternativa, que maximize um índice de eficiência, têm solução através de modelos de otimização. Os modelos de otimização são representados por uma formulação matemática, na qual um algoritmo formal é usado para calcular um conjunto de valores para as variáveis de decisão que minimizem ou maximizem uma função objetivo, sujeita a restrições (WURBS, 1993).

Por categoria, os métodos de otimização se dividem principalmente em: programação linear, programação não-linear e programação dinâmica.

#### 2.4.1. PROGRAMAÇÃO LINEAR – PL

A natureza conceitual da programação linear – PL está baseada na construção de modelos que descrevem o comportamento e as inter-relações entre componentes de um sistema: homens, serviços, máquinas, materiais diversos, etc. Um sistema nestas condições é composto por um conjunto de funções elementares chamadas *atividades*. Uma atividade funciona em PL como uma “**caixa preta**” na qual entram recursos, tais como mão-de-obra, matéria-prima, equipamentos, etc., (inputs) de onde saem diversos produtos (outputs). Ambos, recursos e produtos, são considerados os *bens* de uma atividade (CASTILLO, 2001).

Todo problema de PL caracteriza-se pelo estabelecimento de relações lineares, isto é, todas as equações envolvidas são necessariamente representadas por funções do primeiro grau (SANTOS *et al.*, 2004).

Ainda segundo Barbosa (2001), a PL foi estabelecida em termos matemáticos formais por Dantzig em 1947, para resolver problemas de logística da Força Aérea Americana. Na área de Recursos Hídricos, as primeiras aplicações aconteceram na década de 60, onde o “Harvard Water Resources Group” fez uma aplicação da PL a um problema de gerenciamento de águas subterrâneas. Desde então, a PL se caracteriza como a técnica de otimização mais empregada na área de recursos hídricos. As razões são a flexibilidade da técnica, a maior facilidade de entendimento e a capacidade de pacotes computacionais. Em contrapartida, registra-se a limitação quanto a exigência da linearidade das funções, condição não atendida na maioria dos problemas em recursos hídricos.

Várias aplicações de PL foram feitas em sistema de recursos hídricos. Dentre elas pode-se citar:

Mohan & Raipure (1992) desenvolveram um modelo de programação linear multiobjetivo para ser aplicado em um sistema de 5 reservatórios, denominado Sistema Chaliyar, localizado em Kerala, na Índia. Os objetivos do modelo eram a maximização do

fornecimento de água para irrigação e a maximização da produção de energia hidrelétrica, sujeitos às limitações físicas, às restrições ambientais e à garantia da continuidade do armazenamento.

Dantas Neto (1994) apresentou, em sua tese de doutorado, um trabalho sobre modelos de PL que teve como objetivo desenvolver e comparar dois sistemas de equações matemáticas baseados na resposta das culturas a água. Para tal, empregou-se a formulação padrão da PL, utilizando dois modelos, onde um considera a lâmina de água fixa e o outro as lâminas de água variáveis. A função objetivo utilizada neste trabalho foi a maximização da receita líquida de projeto, e as restrições utilizadas foram as limitações de área, água e produção das culturas.

Francato e Barbosa (1996) apresentaram um estudo dos diferentes fatores que influenciam diretamente nos resultados fornecidos pelos modelos de otimização, com horizonte de planejamento anual e intervalo de discretização mensal, obtidos através de um modelo capaz de considerar todo o horizonte no processo de otimização. O modelo foi aplicado em um sistema que compreende as usinas hidroelétricas de Embarcação e Itumbiara, na Bacia do Rio Paranaíba, utilizando sucessivas iterações da PL, contemplando todo o horizonte de planejamento.

Cunha (1999), em sua dissertação de mestrado, apresentou a aplicação de um modelo de PL à um sistema composto pelo Reservatório Engenheiro Arcoverde, um perímetro irrigado a jusante deste, poços aluviais e a demanda para as cidades de Condado e Malta - PB. Este modelo tinha o objetivo de maximizar os benefícios líquidos auferidos pela irrigação de diversas culturas agrícolas. Utilizou o Modelo CISDERGO 1.0 (Cropping and Irrigation System Design with Optimal Reservoir and Groundwater Operation), desenvolvido por Curi & Curi (1999). O trabalho apresentou bons resultados, onde foi otimizada a receita líquida do perímetro a partir da disponibilidade da água do reservatório e de poços, ao mesmo tempo em que se garantia a sustentabilidade hídrica do sistema de recursos hídricos.

Loaiciga (2002) desenvolveu um modelo de otimização, através de PL, que quantifica o impacto da evaporação e das chuvas na capacidade ótima do reservatório e no desempenho do sistema. A aplicação foi na Bacia do Rio Santa Ynez, na região central da Califórnia - EUA. Nessa bacia existem muitos conflitos de uso da água, principalmente no que diz respeito ao abastecimento urbano, agrícola e à pesca.

### 2.4.2. PROGRAMAÇÃO NÃO LINEAR – PNL

Uma característica comum nos problemas de engenharia é a não linearidade observada nos modelos matemáticos utilizados para representar os processos físicos em questão. Neste contexto, a programação não linear (PNL) surgiu em 1951, a partir do trabalho pioneiro de Kuhn e Tucker apud Cirilo (1997).

A programação não linear difere da linear nos seguintes aspectos (SAAD & FIZZONE, 1996):

- A região factível não está limitada pelo conjunto de pontos extremos;
- Número de restrições que são exatamente satisfeitas, pode ser igual ao número de variáveis de decisão;
- Um deslocamento contínuo numa direção uniforme pode não levar a valores continuamente crescente ou decrescente da função objetivo;
- A região factível pode não ser um conjunto convexo; e
- Um ótimo local pode não ser um ótimo global.

A grande vantagem do método de PNL é sua enorme abrangência na solução de problemas e, elaborado o modelo a ser otimizado, nenhuma simplificação é necessária. Os maiores problemas se relacionam à incerteza, pois não há garantia de que a solução ótima foi encontrada (OLIVEIRA, 2004).

A PNL caracteriza-se por não possuir um método geral de resolução dos seus problemas, tal qual o método simplex na PL. Ela utiliza métodos numéricos iterativos, gerando soluções a cada passo (são muitos algoritmos e quase sempre voltados para a resolução de problemas específicos com características tais como: continuidade, uni-modalidade, diferenciabilidade de primeira ordem e/ou de segunda ordem), etc. Alguns métodos também requerem um ponto inicial viável para o início do processo iterativo. Outra dificuldade advém do uso do computador, exigindo cuidados, tal como escalonamento de variáveis, para reduzir os erros numéricos computacionais. Uma outra característica é a inexistência de critérios absolutos para comparação entre os vários algoritmos existentes (MATEUS & LUNA., 1986).



Embora menos comum que a PL, algumas aplicações de PNL em sistemas de recursos hídricos podem ser citadas.

Saad & Frizzone (1996) apresentaram um modelo de PNL no dimensionamento e operação de um sistema de irrigação localizada. O objetivo era adaptar o modelo, visando determinar a configuração ótima de um sistema de irrigação localizada, sob o enfoque de maximizar a receita líquida obtida com a cultura irrigada. O modelo foi aplicado à cultura da laranja no interior de São Paulo, onde mostrou bons resultados.

Barbosa *et al.* (2001) estudaram o comportamento da operação de um sistema com 3 reservatórios em paralelo, localizados na Bacia do Rio Capibaribe, em Pernambuco, e sujeitos a usos múltiplos. O modelo de otimização utilizado foi o ORNAP (Optimal Reservoir Network Analysis Program) desenvolvido por Curi & Curi (1999), baseado em PNL, que trabalha a nível mensal. A análise foi feita para um ano no qual foram adotados dados hidrológicos médios. O ORNAP foi utilizado acoplado a modelos de otimização de áreas irrigadas e usos de água para piscicultura, controle de cheias e abastecimento urbano.

## 2.5. INDICADORES DE DESEMPENHO DE ÁREAS IRRIGADAS

Segundo Bos (1997), existem cerca de 40 indicadores de desempenho multidisciplinares atualmente utilizados no “Research Program on Irrigation Performance” (Programa de Pesquisa sobre Desempenho de Irrigação – RPIP). Estes indicadores cobrem a distribuição da água, o uso eficiente da água, manutenção, sustentabilidade da irrigação, aspectos ambientais, sócio-econômicos e de manejo. O número de indicadores que poderá ser utilizado depende do nível de detalhes com o qual necessita-se quantificar o desempenho do projeto atualmente e, em conjunto com outros indicadores, poderá auxiliá-lo para identificar o curso correto de ações para a melhoria do desempenho dentro do projeto.

Portanto, os indicadores demonstram, ao longo do tempo, resultados e modificações encontrados no projeto analisado, de forma a poder sinalizar o alcance das metas previstas. Assim, o acompanhamento contínuo, por meio de indicadores de desempenho torna-se uma atividade obrigatória na análise dos fatores que conduzem à obtenção das metas.

### **2.5.1 TAXA DE OCUPAÇÃO DA ÁREA IRRIGADA**

A definição da área de cada lote num perímetro irrigado é feita com base em critérios pré-estabelecidos e todas as previsões adotadas no planejamento do projeto consideram a utilização de toda a área implantada. Conseqüentemente, a ocupação ou operação parcial da área pelo usuário significa ociosidade na capacidade produtiva, seja por dificuldades encontradas, seja por falta de motivação suficiente. Qualquer que seja a causa, ela prejudica o bom desempenho do projeto e precisa ser medida e analisada (BRITO, 1986).

Este indicador é obtido da relação entre a área irrigada e a área irrigável, descrevendo a ocupação da área ao longo do tempo, sendo definida pela seguinte relação:

$$\text{Taxa de ocupação da área irrigada} = \text{Área irrigada} / \text{Área irrigável} \quad (2.0)$$

A área irrigável representa o potencial de área que pode efetivamente ser cultivada através da irrigação.

### **2.5.2 INDICADORES DO BALANÇO HÍDRICO**

#### **2.5.2.1. FORNECIMENTO RELATIVO DE ÁGUA (FRA) E DE IRRIGAÇÃO (FRI)**

Estes indicadores foram desenvolvidos por Levine (1982) como uma medida da disponibilidade de água. O fornecimento relativo de água (FRA), relaciona o fornecimento total de água, nas formas de precipitação pluviométrica e irrigação, com o requerimento total de água das culturas. O fornecimento relativo de irrigação (FRI), representa a razão entre o fornecimento de água para irrigação e a demanda de irrigação (requerimento total menos precipitação efetiva).

Ao analisar os resultados da aplicação dos indicadores em 18 projetos de irrigação, Molden *et al.* (1998), observaram que os valores de FRA variaram entre 0,80 e 4,0. Metade desses projetos tiveram FRA maior que 2,0, sugerindo que não houve restrição no fornecimento de água. O mesmo foi observado para o fornecimento relativo de irrigação (FRI), cujos valores variaram entre 0,41 e 4,81, o qual indica apenas o fornecimento através da irrigação, em função da demanda hídrica das culturas. Portanto, o FRI focaliza somente o suprimento de água através da irrigação em função do requerimento de água das culturas e dá uma indicação da condição de abundância ou escassez de água.

#### 2.5.2.1.1. FORNECIMENTO RELATIVO DE ÁGUA (FRA)

Este indicador relaciona o suprimento total de água, ou seja, volume fornecido através da irrigação mais precipitação efetiva, com a demanda hídrica das culturas (ETP). Teoricamente, a contribuição do lençol freático deveria ser considerada, porém as dificuldades para obtenção deste parâmetro impossibilitam o seu uso.

$$FRA = (V_f + P_e) / ETP \quad (2.1)$$

Onde:  $V_f$  = Volume fornecido na área irrigada ( $m^3$ );

$P_e$  = Precipitação efetiva ( $m^3$ );

ETP = Evapotranspiração potencial das culturas ( $m^3$ ).

### 2.5.2.1.2. FORNECIMENTO RELATIVO DE IRRIGAÇÃO (FRI)

Este indicador relaciona apenas o volume fornecido através da irrigação (sem considerar  $P_e$ ) com a demanda de água das culturas ( $ETP - P_e$ )

$$FRI = V_f / (ETP - P_e) \quad (2.2)$$

O valor de ( $ETP - P_e$ ) para a área irrigada é determinado pela cultura, clima e os intervalos entre aplicações de água, e pode ser calculado com o uso de modelos em programas de computador, como o CRIWAR (BOS *et al.* 1996 apud SANTOS *et al.* 2004).

### 2.5.2.2. RAZÃO GLOBAL DE CONSUMO (RGC)

De acordo com a terminologia empregada por Bos & Nugteren (1978), a Razão Global de Consumo (RGC) representa a eficiência do projeto. Este indicador está intimamente relacionado com o manejo da água e com o nível tecnológico da infra-estrutura de irrigação do projeto.

O volume de água fornecido ao projeto é determinado como uma função do uso consuntivo das culturas. Em outras palavras, a água fornecida que poderia adequadamente alcançar as necessidades das culturas no projeto. Um meio para estimar as necessidades das culturas para a área total irrigada como um todo é considerar a evapotranspiração potencial (ETP), para a área do projeto, e comparar com a água efetivamente fornecida. Como a precipitação pode suprir as necessidades da cultura, em parte ou completamente, é preciso descontá-la da ETP, deste modo fornecendo uma estimativa mais realista do requerimento de água na área irrigada (BRITO *et al.*, 1998).

A razão global (projeto) de consumo quantifica a fração da irrigação evapotranspirada pelas culturas no balanço hídrico da área irrigada, definida como:

$$\text{RGC} = (\text{ETP} - \text{Pe}) / \text{Vf} \quad (2.3)$$

ou

$$\text{RGC} = 1/\text{FRI} \quad (2.4)$$

### 2.5.2.3. FORNECIMENTO MÉDIO DE ÁGUA (FMA)

Conforme Brito *et al.* (1998), a definição em termos de volume fornecido na área irrigada por hectare, dá uma indicação sobre o quanto de água está sendo utilizada para produzir um hectare de área cultivada.

Svendsen & Vermillion (1994) observaram que a partir da década de 1970 o fornecimento médio de água nas tomadas das parcelas diminuiu consideravelmente no Projeto da Bacia Columbia. Essa observação coincide com o período de maior expansão da área sob irrigação por aspersão. Portanto, esta diminuição pode estar relacionada com a mudança para uma tecnologia de aplicação de água mais eficiente, ou seja, do sistema de irrigação por superfície para sistemas de aspersão.

O fornecimento médio de água aos usuários do sistema é obtido conforme a expressão a seguir:

$$\text{FMA} = \text{Vf} / \text{Área irrigada} \quad (2.5)$$

### 2.5.3. INDICADORES DE DESEMPENHO DO RESERVATÓRIO

Segundo Srinivasan *et al.* (1999), falhas em operação de sistemas de reservatórios de abastecimento de água são frequentemente inevitáveis durante períodos hidrológicos críticos. As características de falhas de cada sistema podem ser representadas pelos indicadores de

desempenho tais como confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade. Em outras palavras, confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade juntos caracterizam “risco” no contexto de operação e planejamento de reservatório.

Muitas medidas, como confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade, têm sido propostas para avaliar o risco do desempenho de sistemas de recursos hídricos (TICKLE & GOULTER, 1994; MAIER, 2001; KJELDSEN & ROSBJERG, 2001).

A análise através dos índices de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade tem como foco principal o estudo das falhas as quais um sistema está sujeito. Com esses critérios é possível analisar o desempenho de um sistema hídrico de três maneiras. (1) qual é a frequência de falhas do sistema (confiabilidade); (2) como o sistema retorna ao seu estado satisfatório depois de uma falha (resiliência) e (3) quais as conseqüências que uma falha pode provocar (vulnerabilidade) (LIMA *et al.*, 2003).

Uma representação matemática desses parâmetros foi apresentada por Hashimoto *et al.* (1982). Segundo os autores, as definições destes critérios foram formuladas baseadas na hipótese de que o desempenho de um sistema hídrico pode ser representado por um processo estocástico e estacionário.

Considerando uma variável discreta de resposta do sistema como  $X$  no tempo  $t$  ( $X_t$ ) e admitindo que os valores de  $X_t$  podem ser divididos em um conjunto de valores satisfatórios (S) e um conjunto insatisfatórios (F) – Falhas – a resposta do sistema em qualquer tempo  $t$  será um elemento de um desses dois conjuntos.

Mauad *et al.* (2003) definem confiabilidade, vulnerabilidade e resiliência como:

### **Confiabilidade (C)**

Confiabilidade é definida como a porcentagem do tempo em que as demandas necessárias foram atendidas ou como a probabilidade (P) da variável em análise possuir valores satisfatórios. A confiabilidade (C) é largamente utilizada em planejamentos de recursos hídricos e às vezes é assumida como o oposto do risco.

$$C = P \{X_t \in S\} = P \{X_t \geq X_0\} \quad (2.6)$$

Onde  $X_0$  é o valor abaixo do qual o sistema encontra-se em estado insatisfatório.

Simplificadamente, a confiabilidade também pode ser definida como:

$$C = \frac{n^{\circ} \text{ de valores simulados na zona satisfatória.}}{n^{\circ} \text{ de períodos simulados}} \quad (2.7)$$

### Resiliência (R)

Descreve como um sistema recupera-se ou retorna de uma falha, uma vez que esta tenha ocorrido.

$$R = P \{X_{t+1} \in S | X_t \in F\} = P \{X_{t+1} \geq X_0 | X_t < X_0\} \quad (2.8)$$

Simplificadamente, a resiliência também pode ser definida como:

$$R = \frac{n^{\circ} \text{ de valores simulados na zona insatisfatória seguidos de valores satisfatórios}}{n^{\circ} \text{ de períodos simulados na zona insatisfatória}} \quad (2.9)$$

### Vulnerabilidade (V)

A vulnerabilidade mede a severidade das falhas a que o sistema está sujeito. Em termos de recursos hídricos, este índice dá uma idéia de determinar o quanto de água em média é necessário para suprir o sistema quando da ocorrência de períodos hidrológicos críticos.

A vulnerabilidade é definida pela equação:

$$V(\%) = \{(1/n^{\circ}F) * \sum \% \text{ déficit hídrico}\} \quad (2.10)$$

Onde,  $n^{\circ}F$  = número de eventos de falhas e  $\% \text{ déficit hídrico}$  = percentual do déficit hídrico em cada evento de falha.

### **3. DESCRIÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO**

Não existem dados mais precisos sobre a bacia de contribuição ao reservatório Poço Redondo, contudo há estudos sobre a bacia hidrográfica do Rio Piancó na qual o reservatório está inserido.

#### **3.1. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS**

##### **3.1.1. LOCALIZAÇÃO**

O Reservatório Poço Redondo localiza-se próximo ao Município de Santana de Mangueira – PB, entre as coordenadas geográficas 7° 34' 55" de Latitude Sul (S) e 38° 18' 16" de Longitude Oeste (W). A figura 3.1 mostra sua bacia de contribuição está inserida na região sul da bacia hidrográfica do Rio Piancó que corresponde a uma das sub-bacias do Rio Piranhas também denominado Piranhas - Açú. Tal reservatório está sendo construído a partir do Riacho Poço Redondo. Atualmente está com uma capacidade de acumulação de 10 hm<sup>3</sup>, quando concluído alcançará um armazenamento máximo de aproximadamente 62,75 hm<sup>3</sup> com área de drenagem de 459,95 ha. Vale ressaltar que, segundo o PDRH-PB (1997) a construção do reservatório Poço Redondo é para atender exclusivamente as demandas para irrigação do Perímetro Irrigado Poço Redondo de 500 ha que ainda não está implantado.

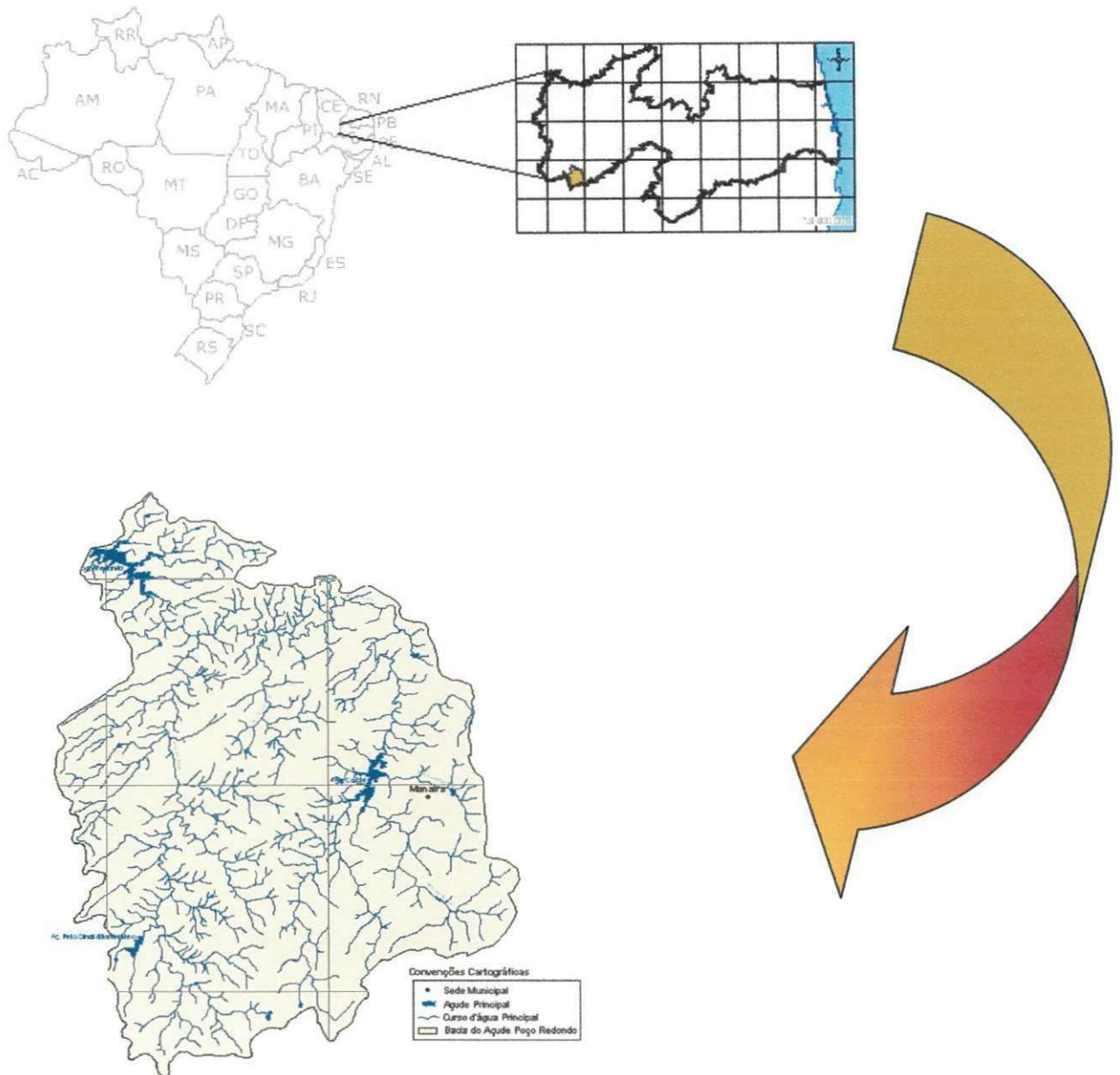
A bacia do Rio Piancó situa-se no extremo sudoeste do Estado da Paraíba, próximo às fronteiras do Ceará ao Oeste, de Pernambuco ao Sul, do Alto e Médio Piranhas ao Norte e com a bacia do Rio Espinharas a Leste. Localiza-se entre as seguintes coordenadas



geográficas: 6° 43' 51'' e 7° 58' 15'' de Latitudes Sul (S) e 37° 27' 41'' e 38° 42' 49'' de Longitudes Oeste (W) no Sertão Paraibano.

A bacia hidrográfica do Rio Piancó é uma das bacias de maior conflito de uso de água. Nela está inserida a maior reserva hídrica do Estado; formada por dois reservatórios interligados: Sistema Coremas - Mãe d'Água, com capacidade para acumular 1,4 bilhões de metros cúbicos. Este sistema atende a diversos usos, dentre eles: a geração de energia, perenização do Rio Piancó, por onde escoam 3,4 m<sup>3</sup>/s para abastecer algumas demandas do Estado do Rio Grande do Norte, vazão prevista de 4 m<sup>3</sup>/s para o atendimento futuro do perímetro irrigado das Várzeas de Sousa, através do Canal da Redenção (principal obra hídrica do Estado), o sistema adutor de Coremas/Sabugi, que atenderá o abastecimento de 17 municípios e alguns perímetros de irrigação a jusante.

Além dos reservatórios de Poço Redondo (perímetro irrigado de Poço Redondo – 500 ha) e do Sistema Coremas - Mãe d'Água há outros reservatórios, alguns atendendo certos perímetros irrigados que de certa forma comprometem as vazões de chegada ao Sistema Coremas – Mãe d'Água, o que podem intensificar os conflitos de uso de água. Os reservatórios são: Santa Inês, Condado, Serra Vermelha I, Piranhas, Catolé, Vidéo, Vazante, Gravatá, Bruscas, Cachoeira dos Alves, Jabota II, Saco, Canoas, Queimadas, Timbaúba, Glória, Bom Jesus, Jenipapeiro, Cachoeira dos Cegos, Emas, Poço Dantas, Boqueirão dos Cochos e Frutuoso II e os perímetros irrigados são: perímetros públicos irrigados de Piancó (1.163 ha), Piancó I (543 ha), Piancó (Cooperar - 285 ha), Bruscas (500 ha), Cachoeira dos Cegos (758 ha), Jenipapeiro (1.062 ha), Gravatá (943 ha), Juru (Cooperar - 230 ha) e Juru (FNE/BNB - 200 ha).



**Figura 3.1:** Localização do Reservatório Poço Redondo e sua respectiva Bacia Hidrográfica.

**FONTE:** Bacia Hidrográfica do Reservatório Poço Redondo (LMRS / SEMARH - 2004),  
 Sedes (DER, 1999),  
 Drenagens e Açudes (Adaptado da SUDENE, 2000),  
 Mapa Brasil – site: [http://www.tramontina.com.br/estrutura/imgs/mapa\\_do\\_brasil.gif](http://www.tramontina.com.br/estrutura/imgs/mapa_do_brasil.gif).

### 3.1.2. SOLOS

De acordo com estudos de solos, apresentados sistematicamente no Plano Diretor de Recursos Hídricos das Bacias do Piancó/Piranhas (1997) – PDRH, a Bacia do Rio Piancó, apresenta um relevo moderado, porém dinâmico.

O sul da bacia, região em que se localiza o reservatório Poço Redondo, apresenta relevo montanhoso - forte ondulado e ondulado – e, ainda nessa região, há ocorrência das seguintes classes de solos: Litossolos, Bruno Não Cálcicos, Podzólicos, Cambissolos, Regossolos e Latossolos Vermelho Amarelo.

- *Litossolo Eutrófico*

Os solos que compreendem esta classe são normalmente rasos, textura arenosa e/ou média, com pedregosidade e rochividade, ocorrendo em relevo plano à montanhoso. Devido as fortes limitações, estes solos não tem muita aptidão para exploração agrícola, mas indicado para a preservação da flora e fauna.

- *Bruno Não Cálcico*

São relativamente rasos, de elevada fertilidade, textura argilosa, susceptíveis a erosão, apresentando ou não pedregosidade. Geralmente são explorados com pecuária extensiva e cultura de subsistência e inserem-se no relevo suave ondulado.

- *Podzólico Vermelho Amarelo*

Estes solos são de fertilidade alta, moderadamente desenvolvidos, susceptíveis a erosão, ocorrendo em relevo suave ondulado, ondulado e fortemente ondulado. São freqüentemente utilizados na pecuária extensiva e em culturas de subsistência.

- *Cambissolo Eutrófico*

Solos que apresentam certo grau de evolução, com horizonte B incipiente, com saturação de bases alta, profundos, acentuado a fortemente drenados, moderadamente ácidos,

susceptíveis a erosão, relevo forte ondulado a montanhoso, por vezes ocorrendo nos topos de relevo menos acidentado, normalmente explorados com culturas de subsistência.

- *Latossolo Vermelho Amarelo*

Compreende solos com horizonte B latossólico, baixa saturação de bases, capacidade de troca de cátions média, fortemente ácidos, baixa fertilidade natural, profundos, bem drenados, relevo plano, utilizados na exploração de mandioca, milho e feijão.

- *Regossolo Eutrófico*

Os solos desta classe são pouco desenvolvidos, muito porosos, profundos, com saturação de bases superior a 50%, capacidade de troca de cátions média, bem drenados, relevo suave ondulado, susceptíveis à erosão. Potencialmente são solos usados com culturas de agave (sisal), milho, feijão, mandioca, palma forrageira, pastagens e frutíferas.

### 3.1.3. VEGETAÇÃO

Ainda de acordo com o PDRH-PB (1997) o processo de degradação da vegetação do semi-árido é constante, principalmente pela interferência do homem através do uso agrícola, pastagens e outros tipos de intervenções. A vegetação da caatinga é muito vulnerável quando não explorada racionalmente. A utilização de forma desordenada e predatória tem como consequência o assoreamento dos rios e reservatórios.

Na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó, onde localiza-se o reservatório Poço Redondo, a vegetação natural é do tipo xerófita, pertencente ao bioma Caatinga. O caráter xerófilo, caracteriza a vegetação nativa, que recebe a denominação de caatinga hiperxerófila, quando o índice de xerofitismo é elevado. Sendo este índice baixo, denomina-se de hipoxerófila.

As plantas xerófilas hibernam na estação seca e renascem no período chuvoso. É uma vegetação de aspecto homogêneo, variando em espécies, geralmente de porte arbóreo e arbustivo, fechadas ou abertas. Compreendem formações lenhosas, geralmente com espinhos, associadas de plantas suculentas, com estratos herbáceo normalmente no período de inverno.

### 3.2. ASPECTOS CLIMÁTICOS

Na bacia do Rio Piancó, o Rio Piancó atravessa em grande parte uma região classificada climatologicamente como Awi de Koppen, tropical chuvoso com estação pluviosa concentrada no verão e no outono, porém em seu baixo curso, pequena parte dos seus afluentes da margem direita atravessam regiões classificadas como seca de tipo estepe com estação seca no inverno, BSw<sup>h</sup> de Koppen (PDRH/PB, 1997).

Os dados climáticos são muito escassos. Segundo o INMET existem na Paraíba 7 estações climatológicas em funcionamento que são administradas pelo próprio INMET. As quais são as estações de Campina Grande (82795), João Pessoa (82798), Monteiro (82792), São Gonçalo (82689), Areia (82696), Patos (82791) e Camaratuba (82695). A única estação climatológica que se situava no interior da bacia do Rio Piancó era a estação de Coremas, que hoje se encontra desativada. Assim, a estação que se encontra mais próxima da bacia do Rio Piancó é a estação de São Gonçalo localizada na bacia do Alto Piranhas.

#### 3.2.1. TEMPERATURA MÉDIA MENSAL

Ao contrário do que ocorre com as precipitações, estes dados variam pouco de um ano para outro. As temperaturas médias anuais variam entre 24°C e 29°C, sendo as temperaturas mais altas registradas durante os meses de outubro a janeiro e os meses com temperaturas mais amenas ficam entre abril e julho. As temperaturas médias mensais são dadas na Tabela 3.1 a seguir.

**Tabela 3.1:** Temperatura Média Mensal (°C).

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
S.Gonçalo*	27,3	26,5	26,1	25,9	23,4	25,1	26,2	26,3	25,6	28,8	27,8	27,9	26,4
Coremas**	28,6	27,0	27,2	26,8	26,6	25,4	25,5	26,3	27,6	28,3	28,8	28,7	27,6

FONTE: PDRH – PB (1997).

\*As médias no Posto São Gonçalo foram fornecidas pelo INMET. As médias diárias são calculadas a partir das temperaturas máxima (T<sub>máx</sub>), mínima (T<sub>min</sub>) e das temperaturas médias às 9 horas (T<sub>9</sub>) e 21 horas (T<sub>21</sub>) segundo a fórmula  $T = (T_9 + 2.T_{21} + T_{máx} + T_{min}) / 5$ .

\*\* As médias mensais nos postos de Coremas e Patos foram extraídos de Tecnosan (1984). Neste relatório não está indicado como foram calculadas as médias diárias, porém os valores calculados pela Tecnosan são ligeiramente diferentes e superiores aos valores fornecidos pelo INMET, no caso do posto de São Gonçalo. Acredita-se que os cálculos da média obedeceram a fórmulas diferentes.

### 3.2.2. INSOLAÇÃO

A insolação é o número de horas durante o dia, nas quais os raios solares atingem diretamente a superfície da terra. Esta variável meteorológica relaciona-se com a nebulosidade, pois quanto maior a nebulosidade menor a insolação. A insolação diária anual média é em torno de 8,8 horas, sendo que os meses de agosto a dezembro os que registram maior número médio mensal de horas diárias de insolação, conforme mostra a Tabela 3.2.

**Tabela 3.2:** Número Mensal Médio de Horas Diárias de Insolação.

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
São Gonçalo	8,7	8,1	7,6	7,9	8,4	8,4	8,8	9,5	9,4	9,7	9,0	9,1	8,7

FONTE: PDRH-PB (1997).

### 3.2.3. UMIDADE RELATIVA DO AR

Com relação à umidade relativa do ar, a média anual é de 64%. Nos meses mais úmidos (março, abril e maio) a umidade chega a 73% em média. Já os meses mais secos, agosto a dezembro, apresentam uma umidade relativa do ar inferior a 60%. A Tabela 3.3 mostra os valores mensais de umidade relativa.

**Tabela 3.3:** Médias Mensais da Umidade Relativa do Ar (%).

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
São Gonçalo	62	69	74	74	72	68	62	59	57	56	57	58	64

FONTE: PDRH-PB (1997).

### 3.2.4. VELOCIDADE DO VENTO

Os dados de velocidade do vento considerados são os fornecidos pela estação climatológica de São Gonçalo, pois é a única estação existente próxima e possui dados

disponíveis da bacia em estudo. Nesta estação, a velocidade média anual é de 2,75 m/s, os meses que ocorrem às velocidades mais altas são de setembro a dezembro e o inverso ocorre nos meses de fevereiro a abril, conforme Tabela 3.4. No que diz respeito à direção predominante dos ventos, deduz-se do Atlas Climatológico do Estado da Paraíba (SILVA, 1984) que esta varia entre SE e NE.

**Tabela 3.4:** Velocidade Média Mensal do Vento (m/s).

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
<b>São Gonçalo</b>	2,6	2,3	2,0	2,0	2,5	2,7	3,0	2,8	3,3	3,3	3,2	3,3	2,75

FONTE: PDRH-PB (1997).

### 3.2.5. EVAPORAÇÃO E PRECIPITAÇÃO

As precipitações, evaporações, transpirações e evapotranspirações são os elementos mais importantes na caracterização do clima de certa região, pois afetam diretamente o balanço hídrico e esse estudo é fundamental para o planejamento dos recursos hídricos.

A região do semi-árido nordestino caracteriza-se por uma concentração de chuvas em apenas alguns meses do ano. Os meses com maior precipitação são os compreendidos entre os meses de dezembro a junho.

Para o reservatório de Poço Redondo, as precipitações médias mensais são obtidas dos Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste – SUDENE (1990), e o posto pluviométrico escolhido foi o de Manaíra, no município de Manaíra, posto pluviométrico mais próximo da área em estudo.

As evaporações na região em estudo apresentam taxas muito altas, dando uma média anual de 2.993 mm na estação climatológica de Coremas (atualmente desativada), chegando a 3.057 mm para a estação de São Gonçalo, Tabela 3.5.

**Tabela 3.5:** Dados de evaporação média mensal (mm) para as estações de Coremas e São Gonçalo (Classe A e evaporímetro) e precipitação média em mm (método de Thiessen).

	Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Prec	Manaira	80,6	123,9	197,3	124,2	37,0	19,1	10,5	1,9	2,6	5,7	22,5	52,1	56,45
ETo	Coremas	272,3	215,4	204,1	182,4	183,1	182,2	219,9	271,9	299,6	332,9	319,0	310,6	249,5
ETo	S. Gonçalo	300,7	213,9	195,5	170,0	183,1	176,0	216,4	274,8	315,1	344,7	333,9	332,5	254,7

FONTE: PDRH-PB (1997).

Segundo o PDRH-PB (1997), as evaporações calculadas para as estações são encontradas a partir dos valores medidos em tanques evaporimétricos - Tanque Classe A, adotando um coeficiente do tanque entre 0,7 e 0,8.

### 3.3. ASPECTOS HIDROLÓGICOS

#### 3.3.1. RIO PRINCIPAL

O comprimento do curso d'água do Rio Piancó perfaz um total de 208 km, medido desde a sua nascente, na Serra do Umbuzeiro no município de Santa Inês, cortando municípios como Diamante, Boaventura, Itaporanga e Piancó até o exutório da bacia no município de Pombal. Já o Riacho Poço Redondo, principal rio da bacia hidrográfica do reservatório em estudo, nasce próximo da divisa com o Estado de Pernambuco – ao sul da bacia, forma o açude Catolé, perto do município de Manaira e mais ao noroeste da bacia forma o reservatório Poço Redondo, perfazendo aproximadamente a 52 km de extensão.

#### 3.3.2. BACIA HIDROGRÁFICA

A área da bacia do Rio Piancó é de 9.228 km<sup>2</sup>. Seu perímetro, comprimento da linha do divisor de águas que a delimita, é de 540 km. A bacia de contribuição ao reservatório Poço Redondo tem uma área de 325,76 km<sup>2</sup>, perímetro de 107,2 km e bacia hidráulica 459,95 ha (PDRH/PB, 1997 e LIMA, 2004).



A Bacia Hidrográfica do Reservatório com coeficiente de compacidade ( $C_c$ ) igual a 1,66, fator de forma da bacia ( $K_f$ ) igual a 0,12, o que pode caracterizar a mesma como uma bacia relativamente compacta, regular e, sendo portanto não sujeita a enchentes.

### 3.3.3. VAZÕES AFLUENTES

Os dados de vazões afluentes ao reservatório foram obtidos no Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (PDRH-PB, 1997). Neste plano foram utilizados dados fluviométricos obtidos pelo modelo *chuva x vazão* MODHAC – Modelo Hidrológico Auto Calibrável. Considerando uma boa disponibilidade de dados fluviométricos, foi possível gerar uma série média diária de 57 anos (1914 - 1970). A Tabela 3.6 apresenta os dados pluviométricos diários mensais.

**Tabela 3.6:** Dados fluviométricos médios diários mensais ( $m^3/s$ ).

AFLUÊNCIA	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Média	0,15	0,80	2,96	4,80	2,78	1,23	0,37	0,02	0,00	0,00	0,03	0,07	1,10

FONTE: PDRH-PB (1997).

## 3.4. ASPECTOS URBANOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DE CONTRIBUIÇÃO

### 3.4.1. SANTANA DE MANGUEIRA

O município de Santana de Mangueira – PB (Figura 3.2) está situado próximo ao reservatório em estudo, que futuramente pode contribuir com o abastecimento daquele. Santana de Mangueira localiza-se entre as seguintes coordenadas geográficas: 7°30' e 7°37'30'' de Latitude Sul (S) e 38°22'30'' e 38°15' de Longitude Oeste (W). Está inserida na Microregião de Itaporanga (Polígono das secas), com uma altitude média de 350 m, possui uma área de aproximadamente 460,2  $km^2$ , população em torno de 6.300 habitantes e dista 465



**Tabela 3.7:** Projeção de demandas Urbanas, Rurais e Totais para o município de Santana de Mangueira – PB.

<b>MUNICÍPIO DE SANTANA DE MANGUEIRA - PB</b>			
<b>ANOS</b>	<b>Projeção da demanda Urbana (l/s)</b>	<b>Projeção da demanda Rural (l/s)</b>	<b>Demanda total Projetada (l/s)</b>
<b>1996</b>	2,19	3,28	5,47
<b>1998</b>	2,47	3,05	5,52
<b>2000</b>	2,77	2,83	5,6
<b>2013</b>	5,23	2,63	7,86

FONTE: Diagnóstico do PDRH das bacias do Piancó/Piranhas (1997).

Segundo o PDRH/PB (1997), na grande maioria dos municípios que fazem parte da Bacia do Rio Piancó a agricultura é predominante como base econômica da região, não sendo diferente para o município de Santana de Mangueira. Dentre as principais culturas agrícolas temporárias produzidas na bacia destacam-se: o feijão em grão, o algodão herbáceo e o milho em grão, seguidos da cana-de-açúcar e da mandioca. Em termos de cultura perene, apenas o algodão arbóreo se destaca na produção agrícola da bacia. Na década de 90, ocorreu sensível mudança na pauta de produtos agrícolas cultivados na bacia com o surgimento de novas culturas temporárias, como a cana-de-açúcar, o próprio algodão herbáceo e o arroz em casca. Em termos de culturas perenes, há uma diversificação de tipos, como a banana, a castanha de caju e a manga.

Com a grande estiagem de 1993, algumas culturas de ciclo produtivo curto foram bastante afetadas, levando o produtor a buscar alternativas produtivas, inclusive práticas de irrigação, o que favoreceu o destaque da produção de arroz em casca, mandioca e tomate. Além das atividades agrícolas, destaca-se as criações de bovinos, suínos, ovinos e caprinos.

## 4. MODELO DE OTIMIZAÇÃO

### 4.1. GENERALIDADES

Para otimização da operação do sistema hídrico composto pelo Reservatório de Poço Redondo, utilizou-se o ORNAP (*Optimal Reservoir Network Analysis Program*), modelo de base mensal, desenvolvido por Curi & Curi (1999). O processo de otimização é resolvido numericamente através da programação não-linear, contemplando função objetivo especificada para maximização da receita líquida anual (RL) advinda da agricultura irrigada nos perímetros, avaliando-se também o retorno financeiro (RI) da piscicultura extensiva nos reservatórios. A receita líquida total é o resultado da diferença entre a renda bruta total auferida com a venda da safra agrícola e do pescado produzido, e os respectivos custos de produção envolvidos. O modelo, obrigado a atender demandas fixas para o abastecimento urbano, busca suprir os demais requerimentos hídricos definidos para o sistema e não violando restrições mensais impostas à sua funcionalidade. Para representar o comportamento hídrico do sistema são empregadas as mesmas técnicas usadas na simulação, que entram no programa como restrições, executando-se balanços mensais de massas entre afluências, efluências e variações de volumes armazenados para cada reservatório, sendo que a demanda para irrigação, traduzida pela necessidade hídrica suplementar para as culturas, é avaliada pelo balanço hídrico mensal do solo, conforme as áreas de cultivo definidas pelo processo iterativo de otimização.

O ORNAP foi desenvolvido no ambiente MATLAB (*Matrix Laboratory*), que é um ambiente computacional técnico de alto desempenho em cálculo e visualização numérica. O MATLAB, em sua versão atualizada, integra análise numérica, cálculo matricial, processamento de sinais e gráficos, em um ambiente de uso simples, onde problemas são

expressos da mesma forma como são escritos matematicamente. O MATLAB é um sistema interativo no qual o dado elementar é uma matriz, permitindo resolução de problemas numéricos em um menor período de tempo, em relação aos escritos em linguagens mais tradicionais como FORTRAN, C ou BASIC.

## 4.2. ASPECTOS MATEMÁTICOS DO MODELO

As variáveis trabalhadas pelo ORNAP são relacionadas aos elementos naturais (hidroclimáticos e hidroagrícolas) e artificiais (demandas, características físicas, parâmetros comerciais, entre outros) identificados como pertinentes ao estudo do sistema hídrico. Para estes elementos, definem-se quatro pontos básicos de entradas de dados envolvendo os reservatórios, demandas de água para o abastecimento doméstico, calhas dos rios e perímetros, como indicados na Tabela 4.1.

O modelo opera a nível mensal, permitindo inferir sobre o comportamento do sistema para situações climáticas média e seca, admitindo criar cenários para variados volumes de acumulação, de controle de cheia e de sustentabilidade hídrica para os reservatórios, e de áreas totais, máximas e mínimas, a serem plantadas em cada perímetro, por tipo de cultura. O conjunto de equações é apresentado, matematicamente, na seqüência.

### 4.2.1. DA AGRICULTURA IRRIGADA

O objetivo é calcular a receita líquida (RL) gerada pela escolha apropriada da dimensão de áreas irrigadas para cada tipo de cultura. Para isso, procura-se levar em consideração a renda bruta obtida com a venda dos produtos agrícolas, os custos de produção anual, o custo da água de irrigação e a atualização monetária. A renda bruta anual  $R_{jt}$ , em R\$/ano/cultura, pode ser dada por:

$$Rb_{jt} = \sum_{k=1}^{ni} Prod_{jta} * Prc_j * Ac_{jk} \quad (4.0)$$

onde:

$j$  – indica o tipo de cultura,  $j=1, \dots, nc$ ;

$ta$  – indica o ano,  $ta=1, \dots, na$ ;

$k$  – indica o perímetro irrigado,  $k=1, \dots, ni$ ;

$ni$  – número de perímetros irrigados;

$nc$  – número de culturas;

$na$  – número de anos em estudo;

$Prod_{jt}$  – produtividade da cultura  $j$  por unidade de área no ano  $t$  de irrigação,

$Prc_j$  – valor atualizado do preço de comercialização da cultura  $j$  e

$Ac_{jk}$  – área plantada com a cultura  $j$  no perímetro  $k$ .

O custo de produção anual  $Cp_{jta}$  em R\$/ano/cultura, relativos aos gastos com insumos, mão de obra e máquinas, pode ser obtido por:

$$Cp_{jta} = \sum_{k=1}^{ni} Cprod_{jta} * Ac_{jk} \quad (4.1)$$

onde:

$Cprod_{jta}$  – valor atualizado do custo de produção por unidade de área da cultura  $j$  referentes à gastos relativos ao ano  $ta$ .

Para se determinar a quantidade de água alocada para a irrigação, isto é, a lâmina de rega, avalia-se num primeiro passo a necessidade hídrica máxima mensal desta planta para desempenhar as atividades vegetativas ao longo do seu ciclo fenológico, ou seja, calcula-se a taxa de evapotranspiração potencial mensal da cultura  $j$  no mês  $t$  e perímetro  $k$ ,  $Etp_{ijk}$  em mm/mês, que pode ser estimada, de forma aproximada, em função da taxa de evapotranspiração de referência no mês  $t$  no perímetro  $k$ ,  $Eto_{kt}$  em mm/mês, que, por sua vez, pode ser representada por (GOMES, 1999):

$$E_{o_{kt}} = K_{Tk} * E_{v_{kt}} \quad (4.2)$$

onde:

t – indica o mês,  $t=1, \dots, nm$ ;

nm – número de meses em estudo;

$K_{Tk}$  – coeficiente do tanque evaporimétrico no perímetro k e

$E_{v_{kt}}$  - taxa de evaporação média mensal em mm/mês de um tanque evaporimétrico, normalmente do tipo classe A, colocado na região do perímetro k.

Logo:

$$E_{t_{jkt}} = K_{c_{jt}} * E_{o_{kt}} \quad (4.3)$$

onde:

$K_{c_{jt}}$  – coeficiente de cultivo no mês t da cultura j que reflete a sua necessidade hídrica em função de sua fase de crescimento.

Para se determinar a lâmina de rega, é necessário calcular, sob o ponto de vista agrônomo, a taxa da precipitação que infiltra no solo e efetivamente permanece à disposição das raízes da planta, isto é, a precipitação efetiva no mês t no perímetro k,  $P_{ce_{kt}}$  em mm/mês, na região a ser irrigada, que é estimada a partir de (especificação da FAO, 1998, para terrenos com declividade de 4 a 5%):

$$P_{ce_{kt}} = 0,8 * P_{c_{kt}} - 25 \text{ se } P_{c_{kt}} \geq 75 \text{ mm} \quad (4.4)$$

ou

$$P_{ce_{kt}} = 0,6 * P_{c_{kt}} - 10 \text{ se } P_{c_{kt}} < 75 \text{ mm} \quad (4.5)$$

onde:

$P_{c_{kt}}$  - taxa de precipitação no mês t em mm/mês que ocorre no perímetro k.

A necessidade de irrigação líquida da cultura j, no mês t, cultivada no perímetro k,  $N_{l_{jkt}}$ , ou a lâmina de rega suplementar que a planta necessita para cada intervalo de tempo do seu ciclo vegetativo, pode ser determinada por (GOMES, 1999):

$$NI_{jkt} = Etp_{jkt} - Pce_{kt} - G_{jkt} - W_{kt} \quad (4.6)$$

onde:

$G_{jkt}$  – dotação de água à zona radicular da cultura  $j$  no mês  $t$  por capilaridade em mm que depende do tipo de solo e do nível do aquífero do perímetro  $k$ , e

$W_{kt}$  – reserva de água no solo no início do mês  $t$  em mm, que depende da capacidade de armazenamento de água no solo no perímetro  $k$ .

Por outro lado, a quantidade de água a ser aduzida para cada tipo de cultura  $j$  dependerá, também, da eficiência do sistema de irrigação,  $Eirr_{jk}$  que, por sua vez, é resultado do produto entre a eficiência do sistema de distribuição e condução de água para cada perímetro,  $Esis_{jk}$ , e da eficiência da aplicação da irrigação por cultura,  $Eapl_j$ , ou seja:

$$Eirr_{jk} = Eapl_j * Esis_{jk} \quad (4.7)$$

Adicionalmente deve-se considerar a necessidade de lixiviação dos sais que se acumulam no solo cultivado, obtida em função da fração de água mínima,  $LR_{jkt}$ , que deve percolar para lavar esses sais, que depende da qualidade da água de irrigação e da salinidade tolerada pela cultura  $j$  no perímetro  $k$  no mês  $t$ . Equações para se determinar  $LR_{jkt}$  para os casos de irrigação por inundação e por aspersão de baixa frequência, e para irrigações de alta frequência (gotejamento e microaspersão), são propostas por Rhoades e Merrill, citados por Gomes (1999). Nesse trabalho, não se dispo de dados sobre a condutividade elétrica do extrato do solo saturado de cada perímetro, não foram avaliadas dotações para água de lixiviação.

Logo, a lâmina mensal de água para a irrigação da cultura  $j$  no mês  $t$  para o perímetro  $k$ ,  $Qirr_{jkt}$ , que é naturalmente transformada em vazão por unidade de área, a ser fornecida pelo sistema será obtida por:

$$Qirr_{jkt} = \frac{NI_{jkt}}{(1 - LR_{jkt}) * Eirr_{jk}} \quad (4.8)$$



O custo da água anual,  $Ca_{jta}$  em R\$/ano/cultura, aduzida para os perímetros pode ser obtido por:

$$Ca_{jta} = \sum_{k=1}^{ni} \sum_{i=12*(t-1)+1}^{12*(t-1)+12 \leq nm} Pra_k * Qirr_{ijk} * Ac_{jk} \quad (4.9)$$

onde:

$Pra_k$  – preço da água por unidade de volume, aduzida para o perímetro k.

Portanto, a receita líquida total, RL em R\$, é dada por:

$$RL = \sum_{t=1}^{na} \prod_{l=1}^{ta} (1 + d_l) \sum \left[ \prod_{j=1}^{nc} \prod_{m=1}^{ta} (1 + dc_{jl}) * Rb_{jta} - Cp_{jta} - Ca_{jta} \right] \quad (4.10)$$

em que:

$\sum_{l=1}^{ta} \prod (1 + d_l)$  = fator de atualização monetária referente a taxa de (inflação) desvalorização dl da moeda 1 no ano l;

$\sum_{l=1}^{ta} \prod (1 + dc_{jl})$  = fator de atualização monetária referente a expectativa de crescimento ou decréscimo nos preços  $dc_{jl}$ , além do nível de inflação, da cultura j no ano l, que pode ser positiva ou negativa.

Outros custos, como por exemplo, os gastos fixos e indiretos dos produtores (administração, taxas, etc.), não alteram o resultado do processo de otimização e não são levados em consideração na solução do problema, apesar de poderem ser diluídos na formação do preço de produção das culturas.

Outros aspectos da agricultura irrigada estão relacionados com as restrições físicas e operacionais do sistema. Entre as restrições físicas podem ser destacadas a quantidade de área a ser irrigada em cada perímetro, a capacidade de vazão para este perímetro e a não negatividade das variáveis. Entre as restrições operacionais é possível referenciar os critérios agronômicos e de mercado.

Com relação à limitação imposta pela capacidade do canal ou adutora pela qual a água é aduzida até o perímetro irrigado, esta pode ser representada por:

$$\sum_{j=1}^{nc} Q_{irr_{jkt}} * A_{c_{jk}} \leq Q_{tax_k} \quad (4.11)$$

onde:

$Q_{tax_k}$  – capacidade máxima mensal de vazão da adutora ou canal para o perímetro k.

Conforme já citado anteriormente, devem existir restrições quanto ao limite máximo mensal da área que pode ser plantada por perímetro em cada mês, que podem ser expressas por:

$$\sum_{j=1}^{nc} \alpha_{jkt} * A_{c_{jk}} \leq A_{pmax_{kt}} \quad (4.12)$$

em que:

$\alpha_{jkt} = 1$  se a cultura j é plantada no mês t no perímetro k, ou

$\alpha_{jkt} = 0$  se a cultura j não é plantada no mês t no perímetro k,

$A_{pmax_{kt}}$  – limite máximo de área total que pode ser plantada por perímetro no mês t.

Com relação aos critérios agrônômicos e de mercado, o conjunto de restrições se refere aos limites mínimos e máximos de áreas plantadas com cada tipo de cultura por perímetro irrigado, e podem ser expressas por:

$$A_{cmin_{jk}} \leq A_{c_{jk}} \leq A_{cmax_{jk}} \quad (4.13)$$

onde;

$A_{cmin_{jk}}$  – área mínima plantada com a cultura j no perímetro k

$A_{cmax_{jk}}$  – área máxima plantada com a cultura j no perímetro k.

#### 4.2.2. DOS RESERVATÓRIOS E SEUS COMPONENTES

No ORNAP, os reservatórios podem ser conectados, via pontos de conexão denominados nós do sistema, a outros elementos, a jusante deles, através dos descarregadores de fundo, vertedouros e tomadas d'água. A vazão em cada um destes elementos depende de seus parâmetros hidráulicos e do nível de água no reservatório. Por outro lado, o reservatório pode estar conectado a um nó a montante que venha a receber vazões afluentes. Portanto, o balanço hídrico mensal de cada reservatório, que é baseado no princípio de conservação da massa e determina a variação mensal do volume nele armazenado, pode ser expresso pela seguinte equação:

$$V_{r_{l,t+1}} = V_{r_{l,t}} + \sum_{\alpha(l)} Q_{a_{\alpha(l),t}} - \sum_{f(l)} Q_{f_{f(l),t}} - \sum_{t(l)} Q_{t_{t(l),t}} + (Pr_{lt} - Ev_{r_{lt}}) * Ar_{lt} - \sum_{v(l)} Q_{v_{v(l),t}} \quad (4.14)$$

onde;

$\alpha(l)$  - índice que representa a  $\alpha$ -ésima vazão afluente ao reservatório l;

$f(l)$  - índice que representa o f-ésimo descarregador de fundo do reservatório l;

$t(l)$  - índice que representa a t-ésima tomada de água do reservatório l;

$v(l)$  - índice que representa o v-ésimo vertedouro do reservatório l;

$V_{r_{lt}}$  - volume do reservatório l no mês t;

$V_{r_{l,t+1}}$  - volume do reservatório l no mês t+1;

$Q_{a_{\alpha(l),t}}$  -  $\alpha$ -ésima vazão afluente ao reservatório l no mês t;

$Q_{f_{f(l),t}}$  - f-ésima vazão de descarga de fundo do reservatório l no mês t;

$Q_{t_{t(l),t}}$  - t-ésima vazão de tomada d'água do reservatório l no mês t;

$Pr_{lt}$  - precipitação direta no reservatório l no mês t;

$Ev_{r_{lt}}$  - taxa de evaporação sobre o reservatório l no mês t,

$Ar_{lt}$  - área média do espelho d'água do reservatório l no mês t e

$Q_{v_{v(l),t}}$  - e-ésimo volume vertido do reservatório l no mês t.

Dependendo das vazões afluentes e alocação mensal de água do reservatório para os diversos usos, as áreas da superfície líquida, as cotas do nível de água e os volumes mensais do reservatório variam de mês a mês sendo, portanto, necessário atualizá-los mensalmente. As

atualizações mensais das cotas, áreas e volumes também servem para que se estabeleçam limites para os cálculos dos volumes defluentes via tomadas d'água, descargas de fundo e extravasores. A vazão a ser aduzida através das tomadas d'água está limitada a sua capacidade máxima e à cota da tomada d'água, o que pode ser descrito, matematicamente, por:

$$0 \leq Q_{t(l),t} \leq Q_{\text{tax}(l)}; \quad (4.15)$$

$$Q_{t(l),t} \geq 0 \text{ se } H_{r_t} \geq H_{t(l)} \quad (4.16)$$

onde:

$Q_{\text{tax}(l)}$  – vazão máxima de adução pela t-ézima tomada d'água do reservatório l;

$H_{r_t}$  – cota do nível d'água do reservatório l no mês t;

$H_{t(l)}$  – cota da t-ézima tomada d'água no reservatório l.

A vazão liberada por descarregadores de fundo está limitada pela sua capacidade máxima no mês t, sendo estimada pela equação abaixo, referida em Quintela (1981):

$$0 \leq Q_{f(l),t} \leq C_{f(l)} * A_{f(l)} * (2 * g * (H_{r_t} - H_{f(l)}))^{0,5} \quad (4.17)$$

onde;

$C_{f(l)}$  - coeficiente de vazão do f-ézimo descarregador de fundo do reservatório l;

$Q_{f(l),t}$  - vazão máxima que pode ser aduzida pelo f-ézimo descarregador de fundo do reservatório l no mês t;

$A_{f(l)}$  - área da seção transversal do f-ézimo descarregador de fundo do reservatório l,

$H_{f(l)}$  - cota de jusante da geratriz inferior do f-ézimo descarregador de fundo do reservatório l.

As vazões extravasadas através de vertedouros são estimadas pela equação a seguir, referida em Quintela (1981):

$$Q_{v(l),t} = C_{v(l)} * B_{v(l)} * (H_{r_t} - H_{\text{vert}(l)})^{1,5} \quad (4.18)$$

onde:

$C_{v(l)}$  – coeficiente de descarga dependente da forma do v-ézimo vertedor do reservatório l;

$B_{v(l)}$  – largura de base do v-ézimo vertedouro do reservatório l e

$H_{vert_{v(l)}}$  – cota da soleira do  $v$ -ésimo vertedouro do reservatório  $l$ .

As vazões vertidas serão calculadas se, e somente se, a seguinte condição for satisfeita:

$$H_{vert_{v(l)}} \leq H_{r_{lt}} \leq H_{vmax_{v(l)}} \quad (4.19)$$

onde:

$H_{vmax_{v(l)}}$  – cota do nível d'água do reservatório  $l$  que gera a lâmina vertente máxima projetada para o  $v$ -ésimo vertedouro.

Restrições de ordem física podem ser impostas ao problema como, por exemplo:

$$V_{r_{morto(l)}} \leq V_{r_{lt}} \leq V_{rmax_{(l)}} \quad (4.20)$$

onde:

$V_{r_{morto(l)}}$  é o volume morto e  $V_{rmax_{(l)}}$  é a capacidade máxima, referidos ao reservatório  $l$ .

Outras restrições por critérios operacionais podem ser impostas ao problema, que podem ser dados por:

$$V_{rmin_{lt}} \leq V_{r_{lt}} \leq V_{rmax_{lt}} \quad (4.21)$$

onde:

$V_{rmax_{lt}}$  – volume máximo admitido para o reservatório  $l$  no mês  $t$ , e

$V_{rmin_{lt}}$  – volume mínimo admitido para o reservatório  $l$  no mês  $t$ .

### 4.2.3. OUTROS COMPONENTES DO SISTEMA

Dentre os componentes do sistema hídrico, para o ORNAP, estão as calhas dos rios cujas vazões podem estar limitadas por valores inferiores, indicando requerimentos de regularizações e de vazões ecológicas para saneamento do rio, ou superiores, para o controle de cheias, que podem ser descritas matematicamente por:

$$Q_{cmin_{ct}} \leq Q_{c_{ct}} \leq Q_{cmax_{ct}} \quad (4.22)$$

onde:

$c$  - índice que indica a calha (trecho) de rio;

$Q_{cmin_{ct}}$  - vazão mínima na  $c$ -ézima calha de rio no mês  $t$ ;

$Q_{c_{ct}}$  - vazão na  $c$ -ézima calha do rio no mês  $t$ , e

$Q_{cmax_{ct}}$  - vazão máxima na  $c$ -ézima calha de rio no mês  $t$ .

Além destas restrições, o modelo promove ainda o balanço em cada nó do sistema, como segue:

$$\sum_i Q_{entra_{in,t}} = \sum_j Q_{sai_{jn,t}} \quad (4.23)$$

onde:

$Q_{entra_{in,t}}$  - é a  $i$ -ézima vazão de entrada no nó  $n$ , no mês  $t$ , e

$Q_{sai_{jn,t}}$  - é a  $j$ -ézima vazão de saída do nó  $n$ , no mês  $t$ .

Finalmente, a receita líquida (RI) oriunda de atividades piscícolas no reservatório pode ser dada por:

$$RI = (Prmp_l * Pdp_l - Cal) * (\min_t Ar_{lt}) \quad (4.24)$$

onde:

$Prmp_l$  - preço médio do pescado na região do reservatório  $l$ ;

$Pdp_l$  - produtividade média de pescado por unidade de área,

$Cal$  - custo de alevinagem por unidade de área e

$\min_t Ar_{it}$  – área da superfície líquida mínima, entre os meses  $t$  de despesca, no reservatório  $l$ .

#### 4.2.4. ANÁLISE DE CONVERGÊNCIA DA OTIMIZAÇÃO

O ORNAP é executado com base em um programa principal, *Otimiz*, responsável pela otimização via MATLAB, apoiando-se em informações de seis arquivos, num trabalho iterativo, sendo eles: o arquivo *dados*, contendo valores para as variáveis operacionais do sistema; o *balhid*, com a função balanço hídrico mensal dos reservatórios; o *cotvol*, que opera entradas de volumes mensais e sai com as cotas dos níveis d'água mensais dos reservatórios; o *espcot*, que opera entradas de cotas de níveis d'água mensais e gera áreas de espelhos d'água mensais para os reservatórios; o *irrig*, responsável pelas avaliações agronômicas e econômicas da irrigação, a nível mensal, e o *penal*, com as funções de penalidade aplicáveis à minimização da função objetivo, observadas as restrições impostas. Os arquivos *printarq* e *printarqi* operam a impressão dos resultados da otimização, seja em forma de solução final ou como solução imediatamente anterior, respectivamente, completado, ou não, o número de iterações de minimização programadas para a execução do algoritmo.

A convergência do processo iterativo de otimização é analisada através dos valores calculados para a função objetivo e função de penalidade que, para uma boa aceitação, devem ser iguais ou da mesma ordem de grandeza, sendo avaliados ainda:

- o erro relativo na função objetivo ( $f_o$ ), dado por:  $\text{erro}_{f_o} = |(f_{o_t} - f_{o_{t-1}}) / f_{o_t}|$ ;
- o erro relativo na função de penalidade ( $f_p$ ), dado por:  $\text{erro}_{f_p} = |(f_{p_t} - f_{p_{t-1}}) / f_{p_t}|$  e
- o erro relativo na função mista ( $f_m$ ), dado por:  $\text{erro}_{f_m} = |(f_{p_t} - f_{o_t}) / f_{o_t}|$ ,

que devem respeitar um nível de tolerância ( $tol$ ) especificado, sendo adotado neste trabalho uma tolerância de valor igual ou menor a 0,00001 ( $10^{-5}$ ). O programa ainda fornece resultados para análise da convergência de restrições, dentro da tolerância requerida, descrevendo o tipo de restrição violada, ou não, suas quantidades mensais e valores totais, seja em vazões, volumes, níveis e áreas.

### 4.3. FLUXOGRAMA DO MODELO

O fluxograma geral do modelo está apresentado na Figura 4.1. É importante ressaltar que as saídas do modelo, possibilitando extensivas análises de desempenho do sistema hídrico em estudo, determinam valores mensais para volumes, cotas e áreas de espelho d'água, vazões mensais de afluxos, de descargas e de sangria, por reservatório; vazões mensais nas tomadas d'água e nas calhas do rio; vazões mensais para irrigação por perímetro, áreas irrigadas e mão de obra alocadas por cultura e por perímetro; receita líquida anual auferida por cultura em cada perímetro; áreas mínimas de espelho d'água, produção de pescado, mão de obra e receita líquida anual advinda da piscicultura, para cada reservatório. O programa ainda gera resultados para análise da convergência do processo iterativo e de restrições, dentro da tolerância requerida, descrevendo o tipo das restrições violadas, ou não, suas quantidades mensais e valores totais, seja em vazões, volumes, níveis e áreas.



Tabela 4.1: Elementos de entrada para o modelo.

Item e sub-itens dos dados de entrada	
<b>1. RESERVATÓRIOS</b>	<b>4. PERÍMETROS IRRIGADOS</b>
<b>1.1 Hidrometeorológico</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vazão afluente</li> <li>▪ Precipitação efetiva</li> <li>▪ Evaporação</li> <li>▪ Coef. de evap. do Tanque</li> </ul>	<b>4.1 Culturas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Definição das culturas</li> <li>▪ Plano de cultura (safra e entressafra)</li> <li>▪ Requerimentos hídricos</li> <li>▪ Produtividade</li> <li>▪ Custo de produção (mão de obra, energia, custo da água, outros insumos)</li> <li>▪ Requerimentos financeiros (inflação, outras taxas)</li> <li>▪ Preço de venda</li> </ul>
<b>1.2 Estruturais</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Relação cota x área x volume</li> <li>▪ Vertedores (equação de descarga: coeficiente de descarga, largura, cota da soleira, lâmina vertente máxima)</li> <li>▪ Descarga de fundo (equação de descarga: coeficiente de descarga, área da seção, cota de jusante)</li> <li>▪ Tomadas d'água (vazão máxima, cota mínima operacional)</li> </ul>	<b>4.2 Terrenos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aptidão agrícola</li> <li>▪ Área total disponível para o plantio</li> <li>▪ Área máxima para o plantio por cultura</li> <li>▪ Área mínima para o plantio por cultura</li> <li>▪ Capacidade máxima de adução de água para os perímetros irrigados</li> </ul>
<b>1.3 Operacionais</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Volumes máximos e mínimos de armazenamento</li> <li>▪ Volumes de alerta</li> <li>▪ Volumes de sustentabilidade hídrica</li> </ul>	<b>4.3 Sistema de irrigação</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tipo de sistema por cultura (gotejamento, sulco, aspersão, outros)</li> <li>▪ Eficiência de aplicação por cultura</li> <li>▪ Eficiência do sistema de distribuição (canal, tubulação) por cultura</li> <li>▪ Custo de manutenção</li> <li>▪ Custo de implantação</li> <li>▪ Vida útil do sistema</li> <li>▪ Taxa anual de amortização do investimento</li> </ul>
<b>1.4 Piscicultura</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Produtividade</li> <li>▪ Custo de alevinos</li> <li>▪ Preço de venda</li> <li>▪ Produção por pescador</li> </ul>	
<b>2. DEMANDAS HÍDRICAS</b>	<b>4.4 Dados meteorológicos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Precipitação na área irrigada</li> <li>▪ Precipitação efetiva</li> <li>▪ Evaporação / evapotranspiração</li> <li>▪ Coeficiente de evaporação</li> </ul>
<b>2.1</b> Abastecimento público	
<b>2.2</b> Irrigação	
<b>2.3</b> Piscicultura	
<b>2.4</b> Perenização do rio	
<b>3. CALHAS DE RIO/ TERMINAIS</b>	
<b>3.1</b> Capacidade máxima	
<b>3.2</b> Vazão de perenização	

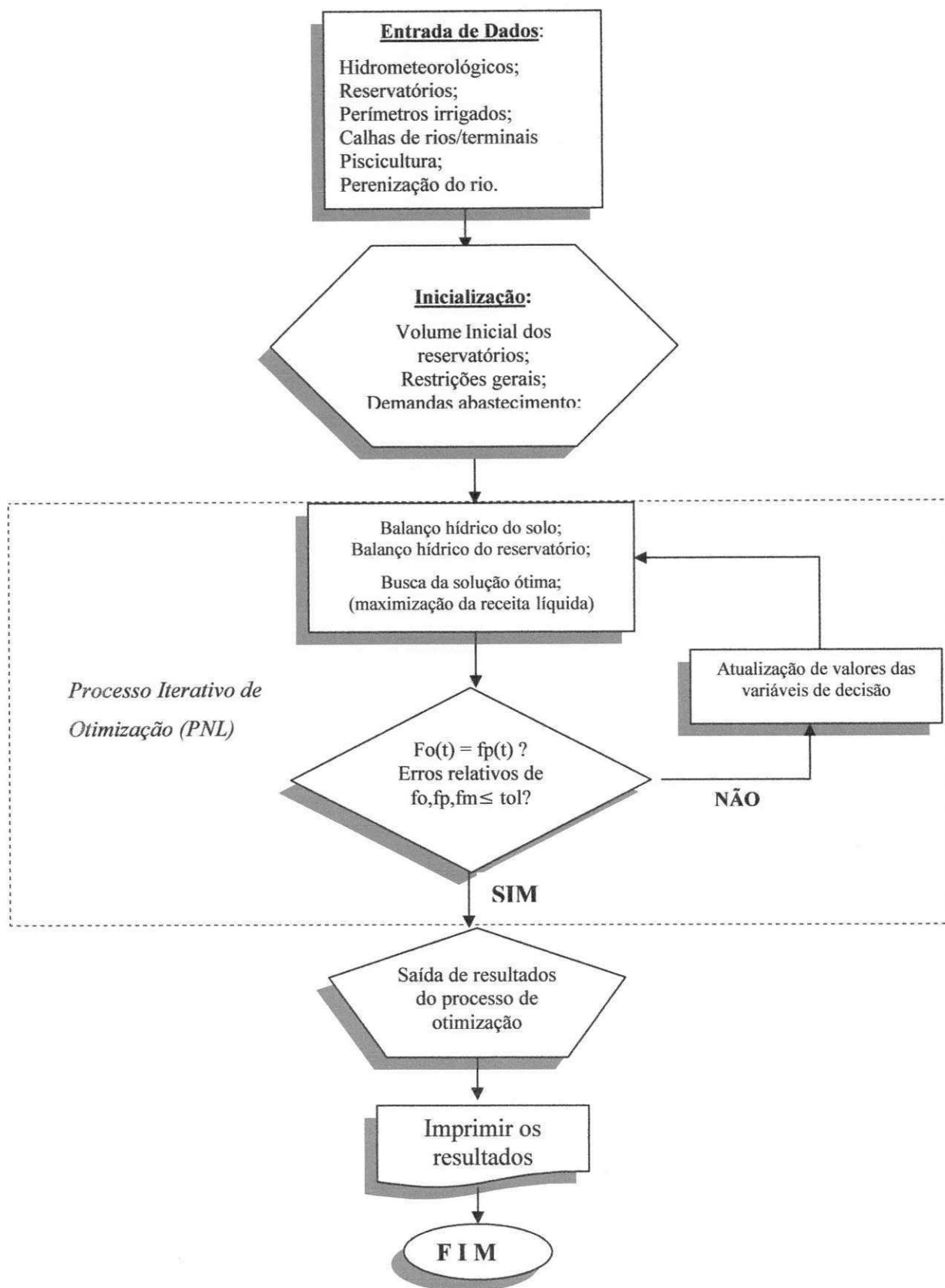
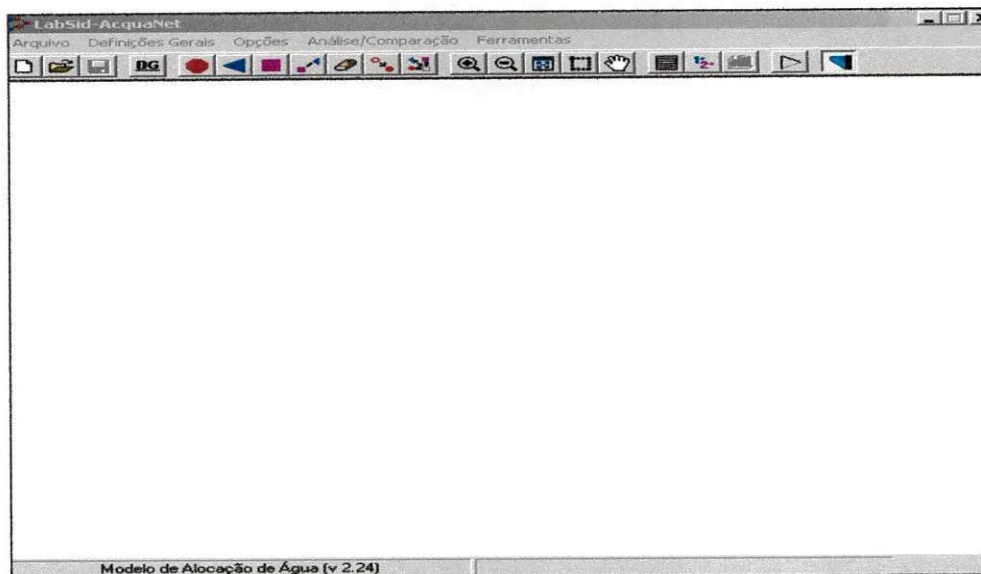


Figura 4.1 – Fluxograma para o modelo

## 5. MODELO DE SIMULAÇÃO

O ACQUANET é um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas. Com ele, pode-se montar redes com um grande número de reservatórios, demandas e trechos de canais (milhares), e representar o problema em estudo de forma bastante detalhada.

Aparentemente, o ACQUANET desenvolvido pelo LabSid da Escola Politécnica da USP (2002), é bem semelhante ao modelo MODSIMP32, que é um modelo de rede de fluxo desenvolvido na Colorado State University (LABADIE, *et al.* 1984 e AZEVEDO, *et al.*, 1997). Entretanto, os dois modelos são completamente diferentes quando se considera o funcionamento e o armazenamento/leitura de dados e resultados. O MODSIMP32 funciona com arquivos próprios e é completamente responsável pela criação e atualização destes arquivos. Já o ACQUANET armazena todos os dados e resultados em Bancos de Dados no formato do Microsoft Access e aproveita a estrutura e a funcionalidade possibilitada pela utilização de arquivos neste formato. A interface do ACQUANET pode ser vista na Figura 5.1.



**Figura 5.1:** Interface do ACQUANET.

Uma das principais características do ACQUANET é o fato dele incorporar automaticamente uma série de funções que são comuns na simulação das bacias hidrográficas sem que o usuário tenha que se preocupar em programá-las. Entre as funções que o ACQUANET incorpora, as mais importantes são:

- Os usuários podem colocar quantos nós de demanda forem necessários para levar em conta as demandas na bacia (consuntivas ou não). O modelo atenderá a estas demandas de acordo com um valor de prioridade atribuída pelo usuário, que pode variar de 1 a 99 (o valor 1 é a maior prioridade);
- A operação do reservatório é feita utilizando o conceito de volume meta ou nível meta, ao qual se atribui uma prioridade. Desta forma sempre que o volume armazenado for menor que o volume meta, o reservatório guardará água desde que as outras prioridades da rede sejam menores.
- As perdas por evaporação dos reservatórios são levadas em conta por meio de processo iterativo.

O modelo desenvolvido pelo LabSid/USP funciona da seguinte maneira:

- Durante a utilização do ACQUANET, todas as ações feitas são imediatamente armazenadas em um banco de dados temporário, que existe somente durante a utilização do modelo;
- Ao iniciar, pode-se começar um novo projeto ou abrir um projeto previamente gravado;
- Se for iniciado um novo projeto, um novo banco de dados temporário será criado;
- Quando se abre um projeto existente, o ACQUANET cria uma cópia deste projeto, que passa a ser o banco de dados temporário;
- No banco de dados temporário são armazenadas todas as informações fornecidas (traçado e dados de entrada).

## 5.1. TIPO DE SIMULAÇÃO

Assim como o modelo MODSIMP32, o ACQUANET pode efetuar os cálculos de maneira seqüencial no tempo (Simulação Contínua) ou estatisticamente (Planejamento Tático).

### 5.1.2 SIMULAÇÃO CONTÍNUA

Na Simulação Contínua, o valor mais importante é o número total de anos de simulação (chamado de NT). O usuário deve fornecer séries de vazões afluentes mensais com duração igual a NT. O modelo irá efetuar os cálculos continuamente, para todos os anos existentes. Ao final do cálculo, os resultados serão fornecidos mensalmente para todos os anos.

A simulação é dita contínua porque o modelo executa os cálculos da seguinte maneira:

- No primeiro ano, o modelo parte com os volumes iniciais dos reservatórios fornecidos e efetua os cálculos até o final deste ano;
- No segundo ano parte-se com volumes iniciais iguais aos volumes finais do ano anterior;
- O procedimento é repetido até o ano NT;
- Os resultados da simulação são fornecidos de forma contínua, do primeiro ao último ano.

Quando as séries de vazões são relativamente longas, os volumes iniciais dos reservatórios passam a ter pequena influência nos resultados. Assim, este tipo de simulação é recomendado para se obter uma idéia inicial do comportamento do sistema em estudo, das prioridades a serem adotadas, etc.. A simulação contínua é recomendada quando se quer ter idéia do comportamento do sistema ao longo do tempo.

### 5.1.3. PLANEJAMENTO TÁTICO

No Planejamento Tático, além do número total de anos de simulação (NT), deve-se fornecer o número de anos do horizonte de simulação (NH). Usualmente adota-se um NH de dois anos. O horizonte de simulação é o número de anos durante os quais pretende-se estudar o comportamento do sistema em análise. Neste tipo de simulação, os cálculos são efetuados da seguinte maneira:

- Partindo, no primeiro ano, com os volumes iniciais dos reservatórios fornecidos, o modelo efetua os cálculos sequencialmente para NH anos da série de vazões;
- Na segunda rodada o procedimento acima é repetido e os cálculos são efetuados para NH anos, mas partindo do segundo ano da série de vazões;
- O procedimento acima é repetido até que seja efetuado o cálculo partindo-se do ano  $NT - NH + 1$  da série de vazões;
- Os resultados fornecidos são valores estatísticos para todos os meses do horizonte de simulação.

Esta opção de cálculo é a mais recomendada quando o objetivo é fazer o planejamento e/ou a operação de sistemas de reservatórios.

## 5.2. OPÇÃO DE CÁLCULO

As duas opções de cálculo existentes no ACQUANET são: *Estados Hidrológicos* e *Calibração*. As diferenças entre estas duas opções estão na entrada de dados e na maneira como o modelo irá efetuar os cálculos. Na opção *Estados Hidrológicos* o modelo considera o estado hidrológico (quantidade de água armazenada nos reservatórios) para determinar qual o valor de demanda, de volume meta e as prioridades que serão utilizadas no cálculo de cada um dos meses. No ACQUANET o usuário pode utilizar até sete estados hidrológicos, fornecendo valores diferentes das prioridades citadas para cada um dos estados. Se optar por *Calibração*, o modelo efetua os cálculos com os valores fornecidos sem considerar o estado atual do sistema.

## 5.3. DEFINIÇÕES GERAIS

Ao iniciar uma simulação, deve-se fornecer ao modelo diversas informações que servirão de base para a entrada de dados, o cálculo e os resultados. No modelo existe uma guia (tela) de definições gerais, na qual é escolhido o tipo de simulação, opção de cálculo e os valores relacionados com estas opções. A Figura 5.2 mostra a tela de definições gerais.

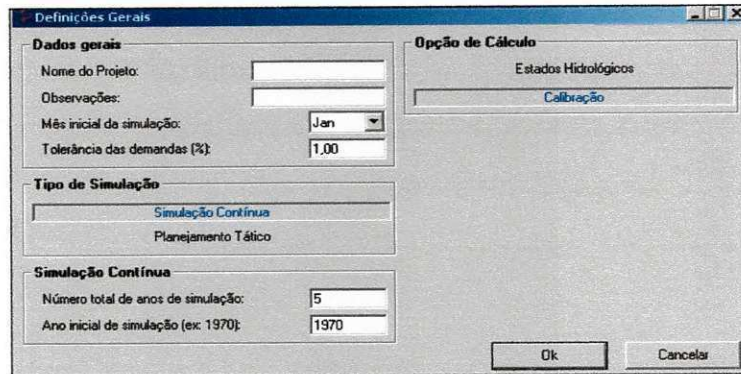


Figura 5.2: Tela de definições gerais do AQUANET.

#### 5.4. ENTRADA/EDIÇÃO DE DADOS

A edição de dados se divide em: edição de dados do reservatório, do link e das demandas. Na edição de dados do reservatório como mostra a Figura 5.3, o modelo necessita das séries de vazões afluentes ao sistema, das características físicas do reservatório (volumes inicial, máximo e mínimo, volume meta, curvas cota x área x volume e prioridade) e das taxas evaporativas.

Ano / Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
1933	0,100	0,530	0,230	1,270	1,040	0,000	0,000
1934	0,030	0,110	8,600	5,460	3,960	2,730	0,550
1935	0,070	1,090	17,110	7,300	7,670	3,380	1,390
1936	0,010	0,590	0,980	0,100	0,000	0,090	0,010
1937	0,010	0,560	1,240	2,740	2,670	1,140	0,090
1938	0,020				3,900	1,530	0,070
1939	0,000				1,960	0,330	0,000
1940	1,550				5,820	4,060	1,620
1941	0,010				0,280	0,000	0,000
1942	0,000				0,080	0,000	0,000
1943	0,030				1,370	0,080	0,010

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Evaporação	0,301	0,214	0,196	0,170	0,183	0,176	0,216	0,275	0,315	0,345	0,334	0,333

Figura 5.3: Entrada/edição de dados do reservatório.



Os links são elos que ligam oferta hídrica à demanda hídrica, ou seja, são trechos de rios, canais, dutos etc.. Em sua entrada de dados, o modelo solicita a capacidade máxima de água e características do link como: coeficiente de perda, capacidade mínima e custos. Por último temos a edição de dados das demandas (valores, prioridades de atendimento e nós de retorno, quando existentes). Essas demandas são para perímetros irrigados, para abastecimentos domésticos e industriais, dentre outros.

## 5.5 RESULTADOS

Os resultados são apresentados em forma de planilhas e ferramenta gráfica que permite editar diversas propriedades do gráfico e efetuar “zoom” em qualquer parte do gráfico. Os resultados que o ACQUANET apresenta são:

- Volume final: o volume armazenado nos reservatórios em função da garantia fornecida pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático);
- Probabilidade do volume final: probabilidade do volume armazenado nos reservatórios ser maior ou igual a um valor de volume fornecido pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático);
- IRM SABESP: o Índice de Regularização dos Mananciais da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), para um valor de volume mínimo fornecido pelo usuário (planejamento tático);
- Falhas no mês: a probabilidade de ocorrerem falhas ao longo dos meses do horizonte de simulação (planejamento tático);
- Falhas consecutivas (2 ou mais meses): a probabilidade de ocorrerem falhas durante 2 ou mais meses consecutivos, ao longo dos meses do horizonte de simulação (planejamento tático);
- Déficits: os déficits no atendimento das demandas em função da probabilidade de ocorrência fornecida pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático);
- Vazões fornecidas (valores mensais): as vazões fornecidas às demandas em função da garantia fornecida pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático);

- Vazões fornecidas (valores médios anuais): as vazões médias anuais fornecidas às demandas em função da garantia fornecida pelo usuário (simulação contínua/planejamento tático);
- Vazões ótimas: nos links em função da garantia (simulação contínua/planejamento tático);
- Valores obtidos: durante a realização dos cálculos (simulação contínua/planejamento tático).

## 6. DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS E ENTRADA DE DADOS

É necessário definir cenários para compreender e avaliar o comportamento do reservatório, quando submetido a um conjunto de condições variáveis no tempo, a partir de determinadas situações climáticas.

Foram considerados 2 cenários hidroclimáticos. Estes cenários foram estabelecidos a partir das séries fluviométricas e pluviométricas compreendidas entre os anos de 1933 a 1985 de postos próximos ao reservatório. Estas séries foram obtidas do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba (PDRH/PB, 1997) e dos dados pluviométricos mensais do Nordeste (SUDENE, 1990), os mesmos podem ser observados em anexo. Os cenários são os seguintes:

**Cenário Médio** – É caracterizado pela média das séries pluviométrica e fluviométrica dos postos próximos ao açude Poço Redondo. Este cenário será avaliado com sustentabilidade hídrica (SH), significando que ao final do período de otimização o volume do reservatório deverá estar maior ou igual ao volume inicial.

**Cenário Seco** – Para o Cenário Seco, devido às condições extremas de precipitação e vazões afluentes, é muito provável que não haja solução viável com SH, portanto as otimizações serão realizadas com horizonte temporal (HT) de 1 e 2 anos, e dessa forma, serão flexibilizados os volumes finais (FVF) com vistas à obtenção de solução viável. O ano mais seco verificado na série hidrológica foi o ano de 1936, com total de precipitação anual de 230,2 mm, mas devido a ocorrência de erros, de valores duvidosos e estimados, e como se necessita assegurar resultados mais precisos, optou-se pelo ano de 1958 (segundo ano mais seco, com total precipitado de 347,4 mm/ano) e para o HT de 2 anos considerou-se também o ano 1959. Uma vez escolhidos os dados

da pluviometria, na fluviometria não foi diferente, e os dados selecionados foram os dos mesmos anos das pluviometrias, ou seja, fluviometria dos anos 1958 e 1959.

### 6.1. PARA OS CENÁRIOS SERÃO CONSIDERADOS:

- ✓ O volume mínimo para todos os cenários, foi considerado como sendo 10% da capacidade máxima do reservatório;
- ✓ Considerou-se o volume no início da otimização como sendo de 40% do volume máximo, pelo fato de se julgar que, após o período chuvoso, o reservatório atingiria com facilidade tal volume;
- ✓ O mês em que se iniciou o processo de otimização foi o mês de agosto, pois acredita-se que essa época do ano tenha uma alta probabilidade do volume ser superior a 40% de sua capacidade e, portanto, flexibiliza o uso de água com relação aos requerimentos de sustentabilidade hídrica;
- ✓ Para uma melhor verificação do potencial de uso da água do reservatório, selecionaram-se apenas as culturas (perenes e sazonais) que tiveram receita líquida positiva, das quais determinaram-se 2 novas culturas: uma representante das perenes e outra das sazonais;
- ✓ O volume do reservatório, ao final da otimização, deve ser maior ou igual ao volume inicial, garantindo a SH.

Com as otimizações dos cenários hidroclimáticos médio e seco, será escolhido o melhor cenário seco (MCS), em termos da maior receita financeira líquida auferida. Com o resultado do MCS e com o cenário médio (CM) far-se-á a verificação dos efeitos que a condição inicial do sistema tem nos resultados da otimização, em face das diferentes condições iniciais de volume armazenado, em cada mês do ano, e do atrelamento à SH para o cenário médio (Melhor Cenário Médio - MCM) e a melhor FVF obtida para o cenário seco (Melhor Cenário Seco dos Melhores - MCSM).

Com os melhores resultados produzidos por este processo para os cenários seco e médio:

- 1- Serão calculados os indicadores de balanço hídrico (FRA- fornecimento relativo de água, RGC- razão global de consumo e FMA- fornecimento médio de água),
- 2- Aplicar-se-á o modelo de Simulação ACQUANET para determinação de indicadores de desempenho do reservatório (confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade), como mostra a Figura 6.1.

Os cenários serão rodados para culturas representativas perenes e sazonais, plano cultural integrado. Os resultados do MCSM e o MCM fornecerão os indicativos para testes com outros cenários que contemplem com respeito a:

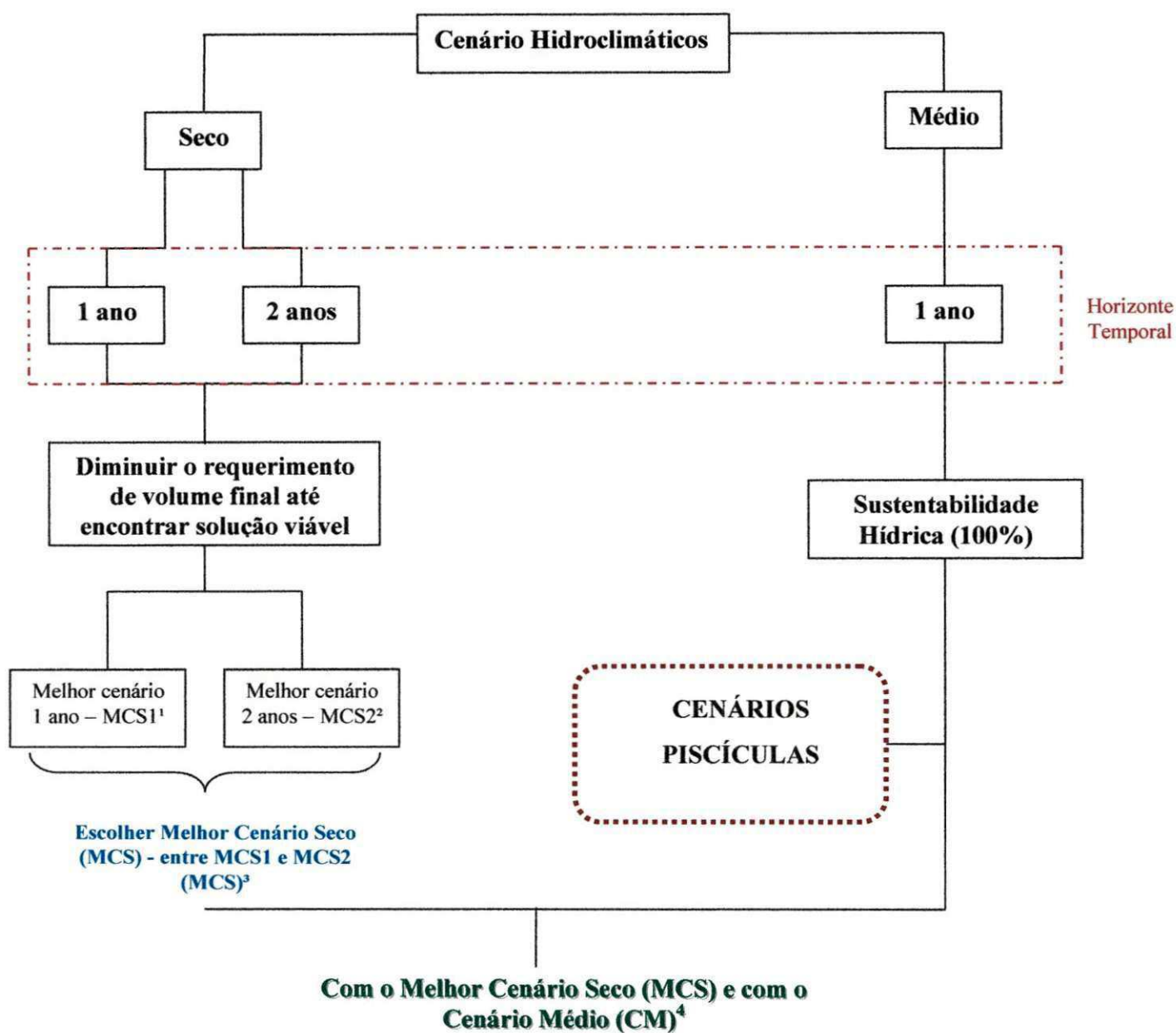
**Cenário agrícola:**

- Só culturas perenes;
- Só culturas sazonais;
- Fixa a área para culturas perenes e otimiza as sazonais.
- Como as culturas perenes demoram em média 5 anos para produzir, e as condições climáticas da região semi-árida são muito instáveis, faz-se necessário fixar a área encontrada para as culturas perenes no cenário seco e otimizar para as culturas sazonais utilizando o cenário médio.

Com o intuito de se observar outras alternativas de utilização econômica das águas do reservatório, nesse trabalho foram considerados os cenários piscículas. Esses cenários serão rodados considerando as entradas de dados para o cenário médio.

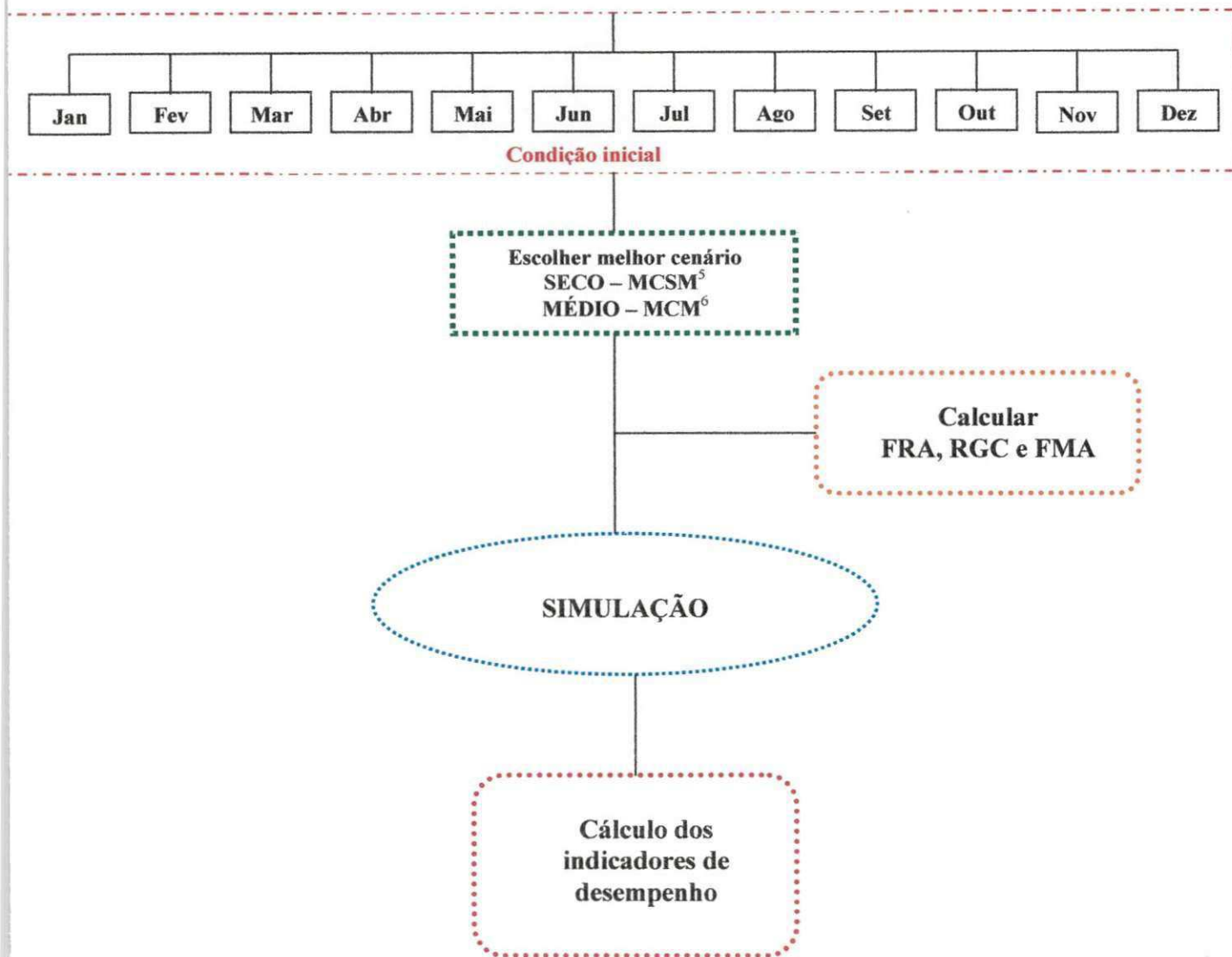
**Cenários piscícolas:**

- Só extensiva, não contemplando irrigação;
- Intensiva + extensiva, não contemplando irrigação;
- Carcinicultura + extensiva, não contemplando a irrigação;
- Piscicultura intensiva + extensiva + carcinicultura, não contemplando a irrigação;
- Piscicultura intensiva + extensiva + carcinicultura + irrigação (corresponde ao Cenário Médio).



Cont.

**Com o Melhor Cenário Seco (MCS) e com o Cenário Médio (CM)<sup>4</sup>**



**Figura 6.1:** Fluxograma representativo dos cenários

<sup>1</sup>MCS1 – Melhor Cenário Seco Ano 1;

<sup>2</sup>MCS2 – Melhor Cenário Seco Ano 2;

<sup>3</sup>MCS – Melhor Cenário Seco;

<sup>4</sup>CM – Cenário Médio;

<sup>5</sup>MCSM – Melhor Cenário Seco dos Melhores;

<sup>6</sup>MCM – Melhor Cenário Médio.

## 6.2. DADOS DE ENTRADA DOS MODELOS

### 6.2.1. MODELO DE OTIMIZAÇÃO

#### 6.2.1.1. PRECIPITAÇÃO

O posto pluviométrico selecionado para representar os valores referentes às precipitações, foi o posto de Manaíra por estar mais próximo do reservatório em estudo, entre as coordenadas geográficas 7° 42' de Latitude Sul (S) e 38° 10' de Longitude Oeste (W). Este posto foi instalado no ano de 1933 pelo DNOCS, na cidade de Manaíra - PB em uma altitude de 605 m, com Código Nacional de 00738015.

A série hidrológica pluviométrica utilizada nas otimizações dos cenários é de 53 anos, onde observa-se o início dos registros no ano de 1933 até o ano de 1985. Tal série hidrológica encontra-se em anexo.

A Tabela 6.1 apresenta-se os dados de pluviometria que foram utilizadas nas otimizações dos cenários hidroclimáticos escolhidos.

**Tabela 6.1:** Dados de pluviometria (mm) que foram utilizados na otimização dos Cenários.

Cenários	Posto Manaíra	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Médio	Média	80,6	123,9	197,3	124,2	37,0	19,1	10,5	1,9	2,6	5,7	22,5	52,1	680,1
Seco	1958	0,0	63,5	105,9	0,0	27,5	7,0	20,7	0,0	0,0	0,0	0,0	122,8	347,4
Seco	1959	53,0	154,5	159,0	46,2	5,0	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,4	0,0	465,1

Fonte: Plano Diretor de Recursos Hídricos - PDRH (1997) – Arquivos de microfichas da SUDENE.



### 6.2.1.2. VAZÃO AFLUENTE

Os dados de vazões que afluem ao Reservatório de Poço Redondo correspondente à área de drenagem da sub-bacia desse reservatório foram retirados do Plano Diretor de Recursos Hídricos – PDRH/1997. As vazões foram geradas pelo modelo hidrológico *chuva x vazão* MODHAC (Modelo Hidrológico Auto Calibrável).

Os anos da série para vazões afluentes utilizada nas otimizações dos cenários, foram os mesmos utilizados para as séries de pluviometria, ou seja, de 1933 até o ano de 1985, totalizando 53 anos. A Tabela 6.2 apresenta os dados de vazão afluente que foram utilizados nas otimizações dos cenários hidroclimáticos escolhidos.

**Tabela 6.2:** Dados de vazão afluente (m<sup>3</sup>/s) que foram utilizados na otimização dos Cenários.

Cenários	Dados vazão	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
<b>Médio</b>	<b>Média</b>	0,15	0,80	2,96	4,80	2,78	1,23	0,37	0,02	0,00	0,00	0,03	0,07	0,87
<b>Seco</b>	<b>1958</b>	0,02	0,04	0,06	0,35	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,04
<b>Seco</b>	<b>1959</b>	0,02	0,04	0,46	0,49	0,00	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09

Fonte: Plano Diretor de Recursos Hídricos - PDRH (1997).

### 6.2.1.3. EVAPORAÇÃO

Os dados de evaporação mensais médios foram retirados do banco de dados da estação climatológica mais próxima do reservatório Poço Redondo, que é a Estação Climatológica de São Gonçalo (82689), administrada pelo INMET.

Na Tabela 6.3 é fornecida a lâmina (mm) média mensal evaporada. Tais dados foram extraídos do PDRH/PB-1997.

**Tabela 6.3:** Lâmina (mm) de evaporação média mensal da estação São Gonçalo.

<b>Mês</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Total</b>
<b>Evap</b>	300,7	213,9	195,5	170,0	183,1	176,0	216,4	274,8	315,1	344,7	333,9	332,5	3.056,6

Fonte: Plano Diretor de Recursos Hídricos - PDRH (1997).

#### 6.2.1.4. ABASTECIMENTO URBANO

A demanda de abastecimento a ser atendida pelo reservatório de Poço Redondo corresponde a uma vazão de 5,3 l/s, conforme o PDRH/PB. Essa demanda diz respeito ao abastecimento do Município de Santana de Mangueira, que atualmente é abastecido por poço Amazonas localizado no Ribeirão Santana.

#### 6.2.1.5. IRRIGAÇÃO

As necessidades de água para irrigação, em geral, são estacionais, com um máximo durante os meses de verão, e pouca ou nenhuma demanda no inverno, que, no Nordeste Brasileiro, é período de chuvas. As necessidades de água não variam muito de ano para ano, embora anos de baixa precipitação, em geral, provoquem uma maior demanda do que nos de elevada precipitação. A não ser que a área irrigada aumente ou ocorra a fase de implementação de culturas perenes, a média anual da demanda permanecerá aproximadamente constante (LINSLEY & FRANZINI.,1978).

A irrigação é basicamente uma operação agrícola, suprimindo a necessidade de água da planta. Para o agricultor, o sistema de irrigação é um componente de sucesso, pois aumenta a produtividade, principalmente cultivo em clima árido, mas para que ocorra esse aumento da produção, é necessário adotar práticas culturais, tais como adubação equilibrada, controle de doenças, combate às ervas daninhas ou pragas, tratos culturais e drenagem. É essencial haver uma harmonia entre a irrigação e o sistema de drenagem, pois permite um solo úmido, porém arejado para manter as atividades funcionais das raízes. Da mesma maneira, a água corretamente aplicada

torna os nutrientes prontamente disponíveis à planta; em excesso, porém, lixiviam o solo, provocando erosão e conseqüentemente assoreamento nos cursos d'água.

A escolha do método de irrigação a ser utilizado em uma determinada área deve ser feito de forma criteriosa. Para isso deve-se ter conhecimento dos recursos hídricos da área, do solo, topografia, clima, culturas a serem utilizadas, o elemento humano e as características dos principais sistemas de irrigação. São 4 os métodos de irrigação empregados nas lavouras ou plantações:

- Infiltração, feita por gravidade ou através de sulcos e que pode ser superficial ou subterrânea. É o mais antigo método utilizado pelo homem;
- Submersão ou inundação;
- Aspersão ou chuva artificial e
- Localizada.

#### **- Infiltração**

Infiltração é a penetração de água no solo, o que pode ser feito das seguintes maneiras: vertical, lateral ou ascendente. Por esse processo, a água captada em rios, lagos, açudes, etc., é transportada até as plantações através de canais principais, de onde saem sulcos secundários, entre os canteiros das plantações. Nestes casos, a irrigação é superficial. A infiltração ou irrigação também pode ser subterrânea, através de manilhas que possuem furos em sua parede.

#### **- Inundação ou Submersão**

Esse sistema de irrigação é muito empregado no Brasil há muitos anos, principalmente para a cultura de arroz. Para evitar grandes despesas na sua implantação, os terrenos devem ter um declive suave para facilitar a drenagem dos canteiros durante a colheita e o manejo da água.

#### **- Aspersão**

Esse processo é comumente conhecido como “chuva artificial”, pois a água, por meio de aspersores, é lançada para cima e caindo sob a forma de chuva, irrigando as lavouras e os terrenos em que elas estejam plantadas. Para que a água caia sobre as plantações, como se fosse chuva é

necessário o uso de equipamentos especiais, que bombeiam a água, através de encanamentos, para os aspersores destinados a espalhar a água sobre a plantação.

#### **- Localizada**

Segundo os especialistas é o método de irrigação de maior eficiência. Podendo ser localizada com emissores pontuais que são os gotejadores e por micro aspersores. Sua adoção requer fonte de água a nível superior ao das terras a serem irrigadas; uma tubulação principal, para conduzir a água até o local da irrigação e distribuí-la por toda a rede de encanamentos. Por esse sistema, a água sai da fonte de abastecimento, entra na tubulação principal, sendo conduzida para a rede de canos mais finos e saindo através dos gotejadores ou superficiais (micro-aspersores) existentes nas extremidades desses canos, a água cai exatamente no local desejado pelo agricultor, próximo às raízes das plantas.

Para a escolha das culturas de irrigação, levou-se em consideração o tipo de solo e costume da região. As selecionadas foram: algodão, arroz, banana, cebola, coco, feijão, goiaba, graviola, mamão, manga, maracujá, melancia, melão, milho, pinha e tomate.

A seguir são apresentadas breves descrições sobre as características básicas para o plantio de cada cultura selecionada neste estudo.

- 1) **Algodão** → A cotonicultura é cultivo de algodão para a produção de fibra e semente. A duração do período de crescimento é de aproximadamente 150 a 180 dias. A germinação é ótima nas temperaturas de 18 a 30°C. O algodão é cultivado numa ampla faixa de solos. Em regiões onde existe grande demanda de água e os recursos hídricos são limitados, cada vez mais se utilizam os métodos de irrigação por aspersão, micro-aspersão e gotejamento a fim de economizar a água. Em média, a quantidade de água necessária para atender às necessidades hídricas do algodoeiro de ciclo curto é de 450 a 700 mm (site-EMBRAPA). As necessidades hídricas da cultura variam com os estádios fenológicos, se houver déficit hídrico no desenvolvimento, poderá ocorrer redução de produtividade de até 50%.
- 2) **Arroz** → A orizicultura é o cultivo de arroz para produção de semente e demanda dos consumidores. O arroz no Brasil é cultivado em dois ecossistemas, várzeas e terras altas. No Brasil, o arroz de terras altas é uma das culturas mais influenciadas pelas condições

climáticas. Uma das alternativas para cultivar arroz com sucesso em terras altas, é a irrigação suplementar por aspersão. No Brasil, o arroz é uma cultura largamente difundida e praticamente é cultivado em todo o território brasileiro. A necessidade total de água para o cultivo do arroz de terras altas varia de 600 a 700 mm (site [www.embrapa.gov.br](http://www.embrapa.gov.br))

- 3) **Banana** → A cultura da banana ocupa o segundo lugar em volume de frutas produzidas no Brasil. A faixa de temperatura ótima para o desenvolvimento das bananeiras comerciais é de 26 - 28°C. Abaixo de 15°C a atividade da planta é paralisada e, acima de 35°C, o desenvolvimento é inibido, principalmente devido à desidratação dos tecidos em especial das folhas. Para obtenção de colheitas economicamente rentáveis, considera-se suficiente uma precipitação efetiva anual entre 1.200 - 1.800 mm/ano. Abaixo de 1.200 mm/ano os climas são considerados marginais e a bananeira somente sobrevive e frutifica se a muda plantada for resistente à seca ou se for utilizada a prática de irrigação. Na irrigação recomendam-se os métodos pressurizados (aspersão, micro-aspersão e gotejamento).
- 4) **Cebola** → A cebola, botanicamente conhecida como *Allium cepa* L., é o principal condimento utilizado pelos brasileiros. A cebola, para produzir bem, durante seu crescimento prefere temperaturas amenas e, por ocasião da formação dos bulbos, temperatura mais elevada. Chuvas bem distribuídas, durante toda a fase de desenvolvimento, e um período seco, depois que os bulbos já estão formados. Os solos mais indicados são os de textura médios (areno-argilosos ou argilo-arenosos) e ricos em matéria orgânica. A colheita é realizada manualmente, aproximadamente aos 90 dias após o transplante das mudas.
- 5) **Coco** → A cultura do coqueiro (*Cocos nucifera* L.) exige grande quantidade de água durante seu crescimento vegetativo. O coqueiro é uma planta essencialmente tropical e encontrou no Brasil excelentes condições climáticas, para seu pleno desenvolvimento e potencial produtivo. A cultura encontra condições climáticas favoráveis com temperatura média anual em torno de 27°C, umidade relativa entre 65 a 85%, pluviosidade entre 1.200 a 2.200 mm anuais, bem distribuídos. A ocorrência de déficit hídrico na fase de produção afeta o desenvolvimento e formação dos frutos.
- 6) **Feijão** → O feijão comum é uma planta anual herbácea, trepadora ou não, pertencente à família *Leguminosae*. Para plantar feijão com êxito comercial, deve-se preferir áreas que tenham outono e primavera longos, suficientes para completar o ciclo do feijoeiro. Precipitação pluviométrica de mais ou menos 100 mm na época do plantio, a temperatura

ideal para a planta se situa entre 10 e 25°C. Os métodos de irrigação que podem ser empregados na cultura do feijoeiro são: aspersão, superficial, por gotejamento e micro-aspersão. A adequação do método depende, entre outros, do solo, da topografia e do nível de tecnologia a ser usado.

- 7) **Goiaba** → Segundo Ochse *et al.* (1966), a goiaba (*Psidium guajava* L. família das *Myrtaceae*) é nativa do Brasil, onde se difundiu em todas as regiões tropicais e subtropicais baixas e quentes do mundo. A goiabeira gosta de clima quente entre 20 a 35°C, nos trópicos a goiaba se desenvolve até uma altitude de 800 a 900 m, desde que a temperatura não baixe bruscamente. As precipitações devem ser adequadas, especialmente durante o período da frutificação, em excesso prejudica a qualidade dos frutos. A goiaba se desenvolve com precipitações anuais que vão desde 1.000 a 4.500 mm. Quanto à irrigação, a goiabeira adapta-se bem aos métodos por superfície e localizada (gotejamento e micro-aspersão), pois não interferem na copa da planta.
- 8) **Graviola** → O Brasil vem se destacando a nível mundial como um importante produtor e consumidor de frutas, especialmente as tropicais e subtropicais. Muitas fruteiras são nativas do Brasil e muitas delas ainda são desconhecidas ou pouco conhecidas, como é o caso das Anonáceas. Dentro da família das Anonáceas, destacam-se a Graviola (*Annona muricata*), Pinha, Ata ou Fruta-do-Conde, Cherimólia e Atemóia (híbrido entre cherimólia e pinha). A gravioleira prefere os solos bem drenados, profundos, com pH entre 6,0 e 6,5 e férteis naturalmente ou corrigidos. Quanto ao clima, a gravioleira não tolera geadas e vegeta muito bem em altitudes de até 1200 m. Temperaturas inferiores a 12 °C provocam abortamento de flores e quedas de frutinhas. Estima-se que a sua necessidade hídrica esteja entre 1.000 a 1.200 mm/ano. A utilização da irrigação localizada, principalmente a micro-aspersão, vem sendo o sistema mais preferido em razão da economia de água, quando comparada com a aspersão convencional e, também, pela pouca exigência de filtragem em relação ao gotejamento.
- 9) **Mamão** → No Brasil, o mamão (*Carica Papaya* L. família *Caricaceae*) é produzido em praticamente todos os estados, desde o norte e o nordeste até o norte do Paraná, mais ao sul dessa região o cultivo é mais esporádico limitando-se às zonas mais quentes próximo do litoral. O mamoeiro requer clima úmido e quente, com temperaturas entre 17 a 38°C. Uma precipitação de 1.500 mm anuais é o ideal. Excessos de umidades são prejudiciais, pois as

raízes não resistem a água parada, por outro lado, uma seca prolongada não seria superada pelo mamoeiro, que é uma planta de consistência herbácea suculenta, com folhas grandes, sujeitas à intensas transpirações. Nesse caso a irrigação é indispensável. Solos mais adequados para plantio de mamão são os que apresentam textura média, com pH na faixa de 5,5 a 6,7. Os métodos de irrigação mais indicados são o gotejamento e a micro-aspersão, pelo fato de permitir uma melhor e maior uniformidade na distribuição com baixa pressão, não causando danos à planta, e propiciam maior economia de água.

- 10) **Manga** → A mangueira (*Mangifera indica*, L. *Dicotyledonae*, *Anacardiaceae*) é uma cultura que prefere clima tropical quente embora a planta tolere grande variação climática. Desenvolve-se bem e frutifica em temperaturas entre 21 e 27°C. A manga vegeta e frutifica em área com chuvas anuais entre 450 e 2.500 mm, regiões com período chuvoso e seco bem definido são ideais para o cultivo da mangueira. Umidade relativa não deve estar acima de 60%; umidade alta interfere na polinização e induz proliferação de doenças. São plantas que preferem solos profundos, permeáveis e ligeiramente ácidos. A escolha do sistema de irrigação está condicionada aos recursos hídricos do local, topografia do terreno, característica do solo, fatores climáticos, aspectos econômicos e fatores humanos. Os sistemas de irrigação mais utilizados são gotejamento, micro-aspersão, aspersão e sulcos.
- 11) **Maracujá** → O maracujazeiro é uma planta de clima tropical, não tolera geadas ou ventos frios, desenvolve bem em temperaturas ao redor de 25°C. Exige uma boa e bem distribuída quantidade de chuvas. Quanto ao solo, os maracujazeiros preferem os solos leves e profundos, os mais indicados são os arenosos ou levemente argilosos, com pH entre 5,0 e 6,0. A irrigação por gotejamento e a micro-aspersão são os sistemas mais indicados. A aspersão apresenta a desvantagem de manter alta a umidade nos ramos, favorecendo o surgimento de doenças.
- 12) **Melancia** → A melancia, uma espécie tropical, pertencente à família *Cucurbitaceae*. É uma hortaliça muito apreciada por sua característica refrescante. Essa cultura desenvolve-se melhor em regiões de clima quente. Prefere solos com textura média, profundos, férteis e bem drenados, com pH entre 5,0 e 6,8, mas também pode ser cultivada em outros tipos de solo, desde que bem preparados e devidamente manejados. A melancieira pode ser cultivada em locais onde a temperatura média anual esteja na faixa de 18 a 30°C. A irrigação é indispensável, quando há falta de chuvas ou quando cultivadas no período seco. A cultura

necessita de irrigação desde a germinação até, a maturação. O método mais comumente utilizado é o de sulcos, tem-se aplicado com êxito a irrigação por gotejamento, com redução na demanda global de água.

- 13) **Melão** → O melão (*Cucumis melo*, L.) é uma cultura de clima tropical exigente em calor, insolação e baixa umidade relativa do ar para o seu desenvolvimento e produção. Sendo assim, seu cultivo se restringe mais às regiões quentes e secas, tais como o Nordeste do Brasil. Para o cultivo do melão é necessário ter temperatura entre 25 e 32°C. Solos com baixa umidade, ricos em matéria orgânica. A região Nordeste é, atualmente, um dos grandes produtores de frutas do país. A irrigação por gotejamento tem conquistado a preferência de muitos agricultores e substituído os métodos anteriores com grandes vantagens.
- 14) **Milho** → O milho (*Zea mays*) é uma cultura que é produzida em climas que variam desde a zona temperada até a tropical durante o período em que as temperaturas médias diárias são superiores a 15°C e livre de geadas. A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, que vai desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. Os solos de textura média ou mesmo argilosos com boa estrutura são os mais recomendados para a cultura do milho. A literatura tem mostrado que as máximas produtividades ocorrem quando o consumo de água durante todo o ciclo está entre 500 e 800 mm e que a cultura exige um mínimo de 350 - 500 mm para que produza sem necessidade de irrigação. O sistema comumente praticado é o da irrigação por aspersão. Havendo experiências que tiveram sucesso com os sistemas de irrigação localizada em especial a micro-aspersão.
- 15) **Pinha** → A *Annona squamosa* L., vulgarmente conhecida por ata ou fruta-do-conde, apresenta melhor desenvolvimento nos climas subtropicais. Produz bem nos solos arenos-argilosos, ricos em matéria orgânica e nutrientes. Pode ser utilizados sistema de irrigação por gotejamento e micro-aspersão.
- 16) **Tomate** → O tomate é uma cultura de crescimento rápido. A temperatura média diária ótima para seu crescimento é de 22°C. Pode ser produzido numa ampla variedade de solos, porém os leves, francos, bem drenados são os preferíveis. O sistema comumente praticado é o da irrigação por sulcos, mas gotejamento e a micro-aspersão vêm se tornando uma opção viável para a irrigação do tomateiro.



O plano cultural para cada cultura de sequeiro está ilustrado na Tabela 6.4.

**Tabela 6.4:** Plano cultural para sequeiro.

Culturas	Meses do ano											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Algodão												
Arroz												
Banana												
Cebola												
Coco												
Feijão												
Goiaba												
Graviola												
Mamão												
Manga												
Maracujá												
Melancia												
Melão												
Milho												
Pinha												
Tomate												

Fonte: Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento (Gomes, 1999).

Para o cálculo da evapotranspiração potencial ETP, em mm/mês, das culturas selecionadas para o estudo, foram adotados coeficientes de cultivo Kc segundo o ciclo fenológico de cada uma delas, conforme está mostrado na Tabela 6.5.

**Tabela 6.5:** Coeficiente de cultivo das culturas adotadas nos perímetros

Culturas	Meses do ano											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Algodão	0,00	0,45	0,75	1,15	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Arroz	0,00	1,10	1,10	1,10	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Banana	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
Cebola	0,00	0,00	0,00	0,72	0,95	0,98	0,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Coco	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Feijão	0,00	0,75	1,15	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Goiaba	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Graviola	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Mamão	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Manga	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Maracujá	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Melancia	0,00	0,00	0,67	0,91	0,98	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Melão	0,00	0,00	0,45	0,75	1,00	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Milho	0,00	0,00	0,75	1,07	1,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pinha	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Tomate	0,00	0,00	0,45	0,75	1,15	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Engenharia de irrigação: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento (Gomes, 1999).

Os dados das características culturais estão apresentados na Tabelas 6.6. Os dados de produtividade (kg/ha/ano), custo médio da produtividade (R\$/ha/ano), trabalho requerido (homem.dia/ha/ano) e custo do trabalho (R\$/homem.dia/cultura) foram retirados do Manual de Orçamento do Banco do Nordeste S/A (2003), com exceção da cultura do algodão, cujos dados foram obtidos junto ao site FNP Consultorias online na data: 16/07/2004 (<http://www.fnp.com.br/index.php>). Com relação ao custo médio (R\$/kg), segundo consultores/produtores da própria EMBRAPA – Petrolina, os preços pagos aos produtores variam em média de 30% a menos do que os preços pagos pelos consumidores nos CEASA's (atacado). Os preços utilizados foram extraídos do informativo semanal de preços agrícolas, BPA – Boletim de Preços no Atacado, edição nº 167, semana 25 – Junho/2004, da Secretaria da Agricultura e Pecuária – SEAGRI/CE, preços da cidade de Recife. As culturas do arroz, feijão, milho e algodão, tiveram seus preços obtidos junto ao site do FNP on-line.

**Tabela 6.6:** Dados das características culturais.

Culturas	Produtividade (Kg/ha/ano)	Preço médio (R\$/Kg)	Custo Médio de Produção (R\$/ha/ano)	Trabalho Requerido (homem.dia/ha/ano)	Custo do trabalho (R\$/homem.dia/cultura)
Algodão	3.000	1,05	2.770,00	115	10,00
Arroz	5.000	0,64	1.500,00	111	10,00
Banana	40.000	1,01	3.500,00	200	10,00
Cebola	15.000	0,98	3.100,00	180	10,00
Coco	60.000	0,28	2.600,00	100	10,00
Feijão	1.800	0,87	1.100,00	66	10,00
Goiaba	16.000	0,34	2.500,00	111	10,00
Graviola	7.000	1,40	2.100,00	130	10,00
Mamão	15.000	0,63	3.000,00	161	10,00
Manga	15.000	1,05	2.744,00	151	10,00
Maracujá	10.000	0,63	2.400,00	142	10,00
Melancia	25.000	0,28	2.500,00	115	10,00
Melão	15.000	0,35	3.500,00	137	10,00
Milho	6.300	0,29	1.100,00	55	10,00
Pinha	15.000	0,70	3.000,00	145	10,00
Tomate	50.000	0,42	7.400,00	267	10,00

**Fonte:** Manual do Orçamento do Banco do Nordeste S/A (2003); SEAGRI-CE (2004); site do FNP on-line; consultores EMBRAPA/PETROLINA (2004).

Os dados sobre o sistema de irrigação aplicado as culturas estão apresentados na Tabela 6.7. Os sistemas de irrigação escolhidos em sua maioria foram os localizados (gotejamento e micro-aspersão), pelo fato de economizar água, energia, possibilitar a fertirrigação, a distribuição da água não é afetada pela ação do vento e possuem manutenção mais barata, apesar dos custos

de investimentos serem mais caros comparados com o sistema convencional (aspersão). Experiências comprovam que esses sistemas (localizados) estão tendo mais eficiências na produtividade pelos resultados que apresentaram. Somente a cultura do arroz é atendida pelo sistema de aspersão, pois é uma cultura que necessita de muita água e na grande maioria das plantações de arroz, os sistemas mais empregados são os de aspersão (site: EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO), inundação e submersão, como estes últimos são mais degradantes, optou-se pelo primeiro.

Os restantes dos dados da Tabela 6.7 foram obtidos junto ao COIPI – Cooperativa Agropecuária dos Irrigantes do Projeto Piancó/PB e EMBRAPA.

**Tabela 6.7:** Dados do sistema de irrigação aplicado às culturas.

Culturas	Sistema de Irrigação	Esis (%)	Eapl (%)	Cman (R\$/ano/ha)	Pirr (R\$/ha)	Vutil (anos)	Amort. (%/ano)	Cbomb (R\$/ano)
Algodão	Micro-aspersão	90	85	50,00	10.500,00	10	8	201,10
Arroz	Aspersão	90	75	56,00	7.500,00	10	8	314,00
Banana	Micro-aspersão	90	85	50,00	10.500,00	10	8	670,40
Cebola	Gotejamento	90	90	50,00	15.000,00	10	8	520,00
Coco	Micro-aspersão	90	85	50,00	10.500,00	10	8	607,50
Feijão	Gotejamento	90	90	50,00	15.000,00	10	8	134,10
Goiaba	Micro-aspersão	90	85	50,00	10.500,00	10	8	580,00
Graviola	Micro-aspersão	90	85	50,00	10.500,00	10	8	502,80
Mamão	Gotejamento	90	90	50,00	15.000,00	10	8	544,70
Manga	Micro-aspersão	90	85	50,00	10.500,00	10	8	586,60
Maracujá	Micro-aspersão	90	85	50,00	10.500,00	10	8	544,70
Melancia	Gotejamento	90	90	50,00	15.000,00	10	8	178,80
Melão	Gotejamento	90	90	50,00	15.000,00	10	8	176,00
Milho	Micro-aspersão	90	85	50,00	10.500,00	10	8	188,40
Pinha	Micro-aspersão	90	85	50,00	10.500,00	10	8	502,80
Tomate	Gotejamento	90	90	50,00	15.000,00	10	8	279,30

Fonte: COIPI – Cooperativa Agropecuária dos Irrigantes do Projeto Piancó/PB (2003); EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO (2004).

Onde:

Esis – Valor percentual da eficiência do sistema de distribuição para irrigação por cultura;

Eapl – Valor percentual da eficiência da aplicação da irrigação por hectare;

Cman – Custo anual da manutenção do sistema de irrigação por hectare (R\$/ano/ha);

Pirr – Custo do investimento de implementação do sistema (R\$/ha);

Vutil – Vida útil do sistema (anos);

Amort – Taxa anual de amortização do investimento (%/ano);

Cbomb – Custo anual de bombeamento por hectare (R\$/ha).

Na entrada de dados do ORNAP, aleatoriamente adotou-se 2.000 hectares para a *área total mensal a ser plantada em cada mês a área máxima plantada de cada cultura*.

Para uma melhor verificação do potencial de uso da água do reservatório Poço Redondo, foi considerado um cenário inicial, utilizando os dados médios de fluviometria e pluviometria, com os resultados deste cenário inicial, selecionou-se apenas as culturas perenes e sazonais com receita líquida positiva e determinou-se duas novas culturas: uma representativa das perenes, formada pela média das características das culturas perenes com receita líquida positiva, e outra representativa das sazonais, formadas com a média das características das culturas sazonais com receita líquida positiva. Esta sazonal foi subdividida em doze culturas, cuja diferença entre elas é apenas o mês de início no plano cultural. Por exemplo, a cultura sazonal 1 com início de plantio no mês 1, a cultura sazonal 2 com início de plantio no mês 2, e assim sucessivamente.

As culturas cujas receitas líquidas foram positivas são: arroz, banana, cebola, coco, goiaba, graviola, mamão, manga, maracujá, melancia, pinha e tomate, onde temos 8 culturas que são perenes (banana, coco, goiaba, graviola, mamão, manga, maracujá e pinha) e o restante, no total de 4, são culturas sazonais (arroz, cebola, melancia e tomate). Nas Tabelas 6.8 e 6.9 pode-se observar as médias das características usadas para o novo cenário, como: produtividade (Prod) em kg/ha/cultura; preço médio (Prc) em R\$/ha/cultura; custo médio de produção (Cprod) em R\$/ha/cultura; trabalho requerido (Hdc) em homens.dia/ano/cultura/ha; custo do trabalho (Ctrab) em R\$/homem.dia/cultura; valor percentual da eficiência do sistema de distribuição para irrigação (Esis); valor percentual da aplicação da irrigação (Eapl); custo anual de manutenção do sistema de irrigação (Cman) em R\$/ano/ha; custo de investimento de implantação do sistema (Pirr) em R\$/ha; vida útil do sistema de irrigação (Vútil) em anos; taxa anual de amortização (Amort.) em %/ano e custo anual de bombeamento (Cbomb) em R\$/ano e média dos coeficientes de cultivo (Kc).

**Tabela 6.8:** Média dos dados de sistema de irrigação e características das culturas que tiveram receita líquida positiva.

Culturas	Prod	Prc	Cprod	Hdc	Ctrab	Esis	Eapl	Cman	Pirr	Vútil	Amort	Cbomb
<i>Perenes</i>	22.250,00	0,75	2730,50	146,88	10,00	90	85,62	58,62	11062,50	10	8	556,50
<i>Sazonais</i>	15.137,50	0,61	2871,25	147,12	10,00	90	86,87	63,40	12937,50	10	8	293,62

**Tabela 6.9:** Plano cultural com os coeficientes de cultivos médios (Kc) das culturas que tiveram receita líquida positiva.

Culturas	Meses do ano											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Perene	0,725	0,725	0,725	0,725	0,725	0,725	0,725	0,725	0,725	0,725	0,725	0,725
Sazonal 1	0,735	0,928	1,053	0,898								
Sazonal 2		0,735	0,928	1,053	0,898							
Sazonal 3			0,735	0,928	1,053	0,898						
Sazonal 4				0,735	0,928	1,053	0,898					
Sazonal 5					0,735	0,928	1,053	0,898				
Sazonal 6						0,735	0,928	1,053	0,898			
Sazonal 7							0,735	0,928	1,053	0,898		
Sazonal 8								0,735	0,928	1,053	0,898	
Sazonal 9									0,735	0,928	1,053	0,898
Sazonal 10	0,898									0,735	0,928	1,053
Sazonal 11	1,053	0,898									0,735	0,928
Sazonal 12	0,928	1,053	0,898									0,735

### 6.2.1.6. AQUICULTURA

A aquicultura vem se desenvolvendo de maneira progressiva em todo o mundo notadamente pelo avanço tecnológico na área de nutrição, genética e instalações, influenciada também pelo aumento na demanda e redução nos estoques naturais (BEVERIDGE, 1996).

Aquicultura, segundo o Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa, é definida como sendo a arte de criar e multiplicar animais e plantas aquáticas de acordo com os instrumentos legais vigentes no Brasil. O termo pode ser encontrado com diferentes graus de abrangência: “o cultivo de organismos que tenham na água seu normal ou mais freqüentes meio de vida” (no Decreto nº 1.695, de 13/11/1995, sobre a prática da aquicultura em águas de domínio da União)

ou “o cultivo ou a criação de organismos que apresentam seu ciclo de vida inteiramente em meio aquático” (na Portaria IBAMA nº 145-N, de 29/10/1998, sobre introdução, reintrodução e transferência de espécies aquáticas) (VALENTI *et al*, 2000).

O Brasil é o país que apresenta o maior potencial do mundo para a produção de pescado através da aquicultura, tendo em vista a vastidão de seu território, com mais de 2/3 ocupando a região tropical, privilegiadas e ricas bacias hidrográficas, onde se destaca a bacia amazônica, responsável por 20% da água doce do mundo. Merecem ainda destaque os 5 milhões de hectares de águas represadas em açudes (no Nordeste) e reservatórios construídos para a geração de energia hidroeétrica ou para abastecimento urbano e, também, a imensidade de seus mais de 8 mil km de costa que possibilita uma enorme e variada atividade de aquicultura de espécies marinhas.

Apesar de existirem milhares de espécies de peixes, são poucas que podem ser consideradas rentáveis, não só por suas próprias características, mas, também, pelo desconhecimento de métodos adequados de criação. A rusticidade é uma das características mais importantes na escolha de uma espécie para a criação, porque significa a resistência dos peixes em todas as fases de crescimento, tanto em relação ao seu manejo quanto às doenças, mudanças de temperatura, oxigenação da água, etc. Dentre os peixes mais rústicos, podemos citar a carpa, a tilápia, o tambaqui e o pacu-guaçu.

Neste trabalho, para o reservatório Poço Redondo é proposto a prática de criação extensiva e intensiva da piscicultura com caráter comercial, bem como a cultivo da carcinicultura (criação de camarão), onde os peixes existentes ou adicionados no manancial hídrico, não serão apenas alimentos aos piscicultores. As espécies de peixes indicadas para iniciarem esse cultivo são: a carpa, tilápia, tambaqui e pacu, pelo fato de serem espécies resistentes as condições adversas.

### 6.2.1.6.1. PISCICULTURA EXTENSIVA

No nordeste brasileiro a atividade piscícola é bastante comum. Nesse sistema de criação de peixes, criação extensiva, o piscicultor aproveita instalações já existentes, como açudes, lagos naturais, represas, que tenham como principal finalidade outra função qualquer que não seja a criação de peixes. Nesse sistema não há uma grande preocupação com a técnica a ser utilizada. É um sistema caracterizado pelo povoamento e re-povoamento, onde a produção de biomassa é dependente dos alimentos naturais produzidos nos diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar desses ecossistemas. Neste caso não há interferência do homem no ambiente. De acordo com Molle & Cadier (1992) a prática da piscicultura é atrativa na região nordeste por diversos fatores, dentre eles destacam-se:

- Baixos investimentos iniciais pela existência de reservatórios;
- Condições excelentes de luz e temperatura ambiente;
- Mínima interferência nos demais usos da água, visto que sua demanda é pouco expressiva;
- Praticada em áreas impróprias para a agricultura;
- Não requer fonte de energia artificial;
- Importante fonte alimentar, alto teor de proteína na carne de peixes comparados com as carnes bovinas e de aves.

A grande desvantagem desse sistema é a baixa produtividade, que fica uma média próxima de 200 kg/ha/ano. De acordo com Hussar & Arruda (2001) a taxa de estocagem máxima recomendada é de 2.000 alevinos/ha. As taxas de mortalidade dos alevinos são altas, principalmente se houver muitos predadores no ambiente aquático. Com base em informações do DNOCS, para a prática da piscicultura extensiva em reservatórios podem ser considerados:

- Custo dos alevinos fica em média de R\$ 100,00/ha/ano;
- Produtividade média de pescado (Pdp) - 200 kg/ha/ano;
- Preço médio de venda do pescado (Prmp) - R\$ 2,00/kg;
- Despesa média anual por pescador (Pdpp) - 1.500 kg/pescador/ano

### 6.2.1.6.2. PISCICULTURA INTENSIVA

A piscicultura intensiva é a atividade que trata da criação de peixes de maneira exclusiva, isto é, com controle de todos os elementos envolvidos na criação de peixes. Caracteriza-se pelo total controle das condições ambientais e limnológicas e seu objetivo é a máxima produção possível por unidade de área e tempo, empregando-se a alimentação artificial, favorecendo o aumento da produtividade piscícola associado com a melhoria da produtividade aquática por meio de adubos e corretivos nos tanques e viveiros. A piscicultura intensiva produz em média 15.000 kg/ha, com um custo médio de produção em torno de R\$ 25.000,00 reais/ha, incluindo insumos, mão-de-obra, energia, etc.

De acordo com o site da Rural News, para se encher um tanque ou viveiro com área de 1 hectare e 1 m de profundidade, são necessários de 16.000 a 20.000 m<sup>3</sup> de água. As perdas por infiltração e evaporação giram em torno de 1 a 2 cm por dia, o que exige entre 10 a 20 litros por m<sup>2</sup> ou 100 a 200 m<sup>3</sup>, por hectare, por dia.

A Tabela 6.10 mostra os dados de piscicultura intensiva e a Tabela 6.11 mostra um comparativo entre os dois tipos de criação de peixes.

**Tabela 6.10:** Dados da piscicultura intensiva

PISCICULTURA INTENSIVA	
Produtividade (kg/ha)	15.000
Preço médio (R\$/kg) <sup>1</sup>	2,00
Custo médio de produção (R\$/ha) <sup>2</sup>	25.000,00
Custo do investimento de implantação (R\$/ha)	25.000,00

Fonte: Martins *et. al* (2003),

Ambiente Brasil (<http://www.ambientebrasil.com.br>),

<sup>1</sup>Valenti *et. Al* (2000),

<sup>2</sup>Rural News (2003).



**Tabela 6.11: Sistema de Cultivo Comparativo**

<b>PISCICULTURA INTENSIVA</b>	<b>PISCICULTURA EXTENSIVA</b>
Atividade lucrativa, visando a uma maior produtividade por unidade de área	Atividade não-lucrativa, visando ao povoamento e repovoamento e pesca esportiva.
A produção de peixe por unidade de área é elevada.	É pequena a produção de peixe por unidade de área, porém muito baixos os custos de criação.
O povoamento é feito com peixes de valor comercial.	O povoamento é feito com peixes nativos na região.
Os peixes são alimentados artificialmente com ração balanceada.	Os peixes criados dependem quase que exclusivamente da produtividade natural do ambiente.
Total controle das condições ambientais visando a alta produtividade piscícola.	O ambiente não é controlado ou se o é, esse controle não leva em conta as necessidades piscícolas.

Fonte: <http://www.emater.pr.gov.br>.

### 6.2.1.6.3. CARCINICULTURA

Conforme a Associação brasileira de criadores de camarão – ABCC (2003), o cultivo brasileiro de camarão é um dos melhores e mais preferidos do mundo.

Por apresentar um meio ambiente favorável e tecnologia de ponta, o Brasil se tornou um importante produtor de camarão, pois abastece os mercados mais exigentes com qualidade, rapidez e preços competitivos.

A criação do camarão de água doce *Macrobrachium rosenbergii* iniciou-se no Brasil no final da década de 70, em Pernambuco, pelo Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (LOMBARDI & MARQUES, 2004). Originário do sudeste asiático e das ilhas do Pacífico, as espécies de água doce conhecidas aqui como gigante-da-Malásia, pituhavaiano ou camarão-da-Malásia é a mais usada nas criações, sendo cultivado em quase todos os estados brasileiros.

Como todo camarão de água doce, o *M. rosenbergii* é rastejante e prefere lugares sem a incidência de luz solar direta. São animais onívoros, comem de insetos aquáticos a suas larvas, vermes, pequenos moluscos, algas, etc., podendo apresentar canibalismo. A temperatura ideal para esta espécie está na faixa de 25 a 31°C, acima de 35°C o animal sofre estresse, contudo

suportam mais ao calor que ao frio. O *M. rosenbergii* possui um ciclo de vida dividido em quatro fases distintas: ovo, larva, pós-larva e adulto.

A qualidade da água deve ser rigorosamente controlada para que as condições ambientais se estabeleçam dentro dos padrões de exigência dos camarões a fim de gerar maiores produtividades no cultivo. Teores de oxigênio dissolvido, pH, temperatura e transparência são parâmetros controlados diariamente nos viveiros, enquanto que, dureza, alcalinidade e outros são monitorados semanalmente.

Os valores de produtividade desta atividade variam de acordo com a situação climática regional e com o tipo de sistema de cultivo empregado. Geralmente, produtividades variando entre 5.000 a 7.000 kg/ha/ano são observadas nos empreendimentos comerciais em operação no Brasil.

O investimento inicial com instalações gira em torno de R\$ 50.000,00/ha. O custo médio de produção varia entre R\$ 25.000,00/ha e R\$ 30.000,00/ha. O valor de venda varia entre R\$/kg 10,00 e 15,00 de acordo com o padrão do produto e tipo de mercado. O mercado consumidor é bastante diversificado, podendo-se citar as redes de supermercados, hotéis, restaurantes e lojas especializadas em pescados. Trata-se de um produto nobre, com excelente aceitação nos mercados interno e externo.

A Tabela 6.12 apresenta-se todos os dados de entrada de carcinicultura no modelo de otimização.

**Tabela 6.12:** Dados de produtividade, preços, custos da carcinicultura.

<b>CARCINICULTURA</b>	
Produtividade (kg/ha)	7.000
Preço médio (R\$/kg)	12,50
Custo médio de produção (R\$/ha)	30.000,00
Quantidade média de água nos tanques (l/s/ha)	5 - 20
Custo do investimento de implantação (R\$/ha)	50.000,00

**Fonte:** Carcinicultura Miriri (2004),  
Lombardi & Marques (2004).

### 6.2.1.7. DADOS DOS RESERVATÓRIOS

Os dados dos reservatórios adotados no modelo de otimização, tanto estruturais quanto operacionais, dizem respeito às relações cota x área x volume; volumes de armazenamento, máximos e mínimos permitidos; características hidráulicas das tomadas d'água, descargas de fundo e vertedouros, descargas mínimas e máximas permitidas. Na seqüência, são apresentados os dados considerados a respeito dos reservatórios.

A relação cota x área x volume é importante, visto que quando há uma diminuição na cota do reservatório, conseqüentemente ocorrerá a diminuição do espelho d'água como também do volume e, assim, haverá uma diminuição do volume evaporado e isso tudo influencia no processo de otimização.

Para estabelecer essa relação, foi necessário utilizar o *software LabFit*, desenvolvido por Silva & Silva (2003), onde entrou-se com os dados de cota, área e volume e obteve-se as funções matemáticas que melhor representaram estes dados (SILVA, 2004).

#### 6.2.1.7.1. RELAÇÕES COTA X ÁREA X VOLUME

- Cota do nível d'água a partir do volume do reservatório:

$$C_t = \frac{1}{[a + b * \log(V_t)] + c} \quad (6.0)$$

Onde:

$C_t$ : Cota do nível d'água do reservatório no mês t (m);

$V_t$ : Volume do reservatório no mês t ( $m^3$ );

$a$ : Coeficiente de valor 0,1630197395185;

**b:** Coeficiente de valor -0,7773149143011 E -2;

**c:** Coeficiente de valor 0,6429693620688 E +2.

- Área da bacia hidráulica a partir da cota do nível d'água:

$$A_t = \frac{a+b}{\frac{C_t+c}{C_t^2}} \quad (6.1)$$

Onde:

**A<sub>t</sub>:** Área da bacia hidráulica do reservatório no mês t (m<sup>2</sup>);

**C<sub>t</sub>:** Cota do nível d'água do reservatório no mês t (m);

**a:** Coeficiente de valor 0,6062352090512 E +8;

**b:** Coeficiente de valor -0,9117076861392 E +10;

**c:** Coeficiente de valor 0,3426949920330 E +12.

- Volume do reservatório a partir da cota do espelho d'água:

$$V_T = a + b * C_t + c * C_t^2 \quad (6.2)$$

Onde:

**V<sub>t</sub>:** Volume do reservatório no mês t (m<sup>3</sup>);

**C<sub>t</sub>:** Cota do nível d'água do reservatório no mês t (m);

**a:** Coeficiente de valor 0,5374727674044 E +9;

**b:** Coeficiente de valor -0,1349255256551 E +8;

c: Coeficiente de valor 0,84661137480353 E +5.

### 6.2.1.7.2. VAZÕES MÁXIMA E MÍNIMA

Nesse estudo não se considerou limites para vazão mínima. As vazões liberadas pelo reservatório para satisfazer a demanda de irrigação serão variáveis de acordo com as necessidades de cada cultura num determinado mês. A capacidade de adução de água para a irrigação foi de 2 m<sup>3</sup>/s.

### 6.2.1.7.3. DESCARREGADOR E VERTEADOR

As vazões descarregadas máximas são determinadas pela Equação (6.3).

$$Q_{f_{m\acute{a}x}} \leq C_f * A_f * [2g * (H_{r_t} - H_f)]^{0,5} \quad (6.3)$$

Onde  $Q_{f_t}$  representa a vazão aduzida pelo descarregador do reservatório no mês t,  $C_f$  significa o coeficiente de vazão do descarregador,  $A_f$  é a área da seção transversal do descarregador dada em m<sup>2</sup>,  $H_{r_t}$  indica a cota do nível d'água do reservatório no mês t em m e, por fim,  $H_f$  que é a cota de jusante da geratriz inferior do descarregador em metros. Na Tabela 6.13, estão apresentados os dados do descarregador de fundo do reservatório.

**Tabela 6.13:** Dados da tomada d'água usados para a obtenção das vazões mensais liberadas pelo reservatório.

Dados do descarregador	Reservatório Poço Redondo
Cf – coeficiente de vazão da descarga de fundo	0,67
Af – área da seção transversal de um descarregador de fundo (m <sup>2</sup> )	0,196
D – Diâmetro do tubo (mm)	500
Hf – cota do nível d'água a jusante da descarga de fundo (m)	88

Fonte: Azevedo Netto (2002), PDRH-PB (1997).

As vazões mensais extravasadas pelo vertedor, são determinadas pela Equação (6.4).

$$Q_{v_i} = C_v * B_v * (H_{r_i} - H_{vert})^{1.5} \quad (6.4)$$

A Tabela 6.14 mostra os valores dos parâmetros usados para estimativa dessas vazões extravasadas.

**Tabela 6.14:** Parâmetros adotados para a estimativa das vazões vertentes.

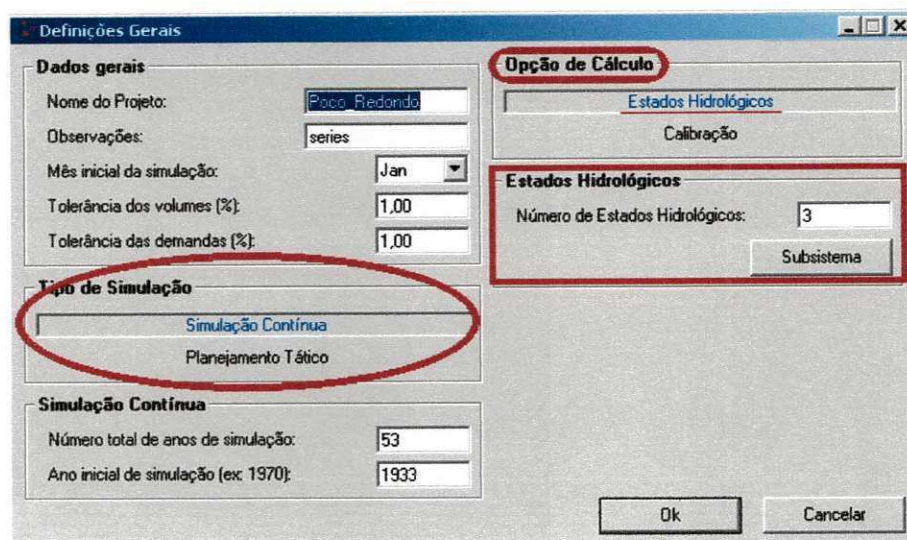
Dados	Reservatório Poço Redondo
Cv – coeficiente de descarga do Vertedor	2
Bv – largura do vertedor (m)	150
Hvert – cota de crista do vertedor (m)	107
Hvmax – lâmina d'água vertente máxima no extravasor (m)	2

Fonte: PDRH-PB (1997).

As vazões vertidas somente serão calculadas se for satisfeita a condição  $H_{vert} \leq H_{r_i} \leq H_{v_{max}}$ . Onde  $H_{v_{max}}$  é a cota do nível do reservatório que causaria a lâmina vertente máxima projetada para o sangrador.

### 6.2.2. MODELO DE SIMULAÇÃO

A entrada de dados no modelo de simulação ACQUANET é bem simples. Em linhas gerais, o modelo pede: tipo de simulação, opção de cálculo, número total de anos para a simulação e o ano inicial das simulações. A Figura 6.2 mostra a guia da entrada de dados do Modelo (definições gerais).



**Figura 6.2:** Guia de definições gerais para entrada de dados no modelo AcquaNet.

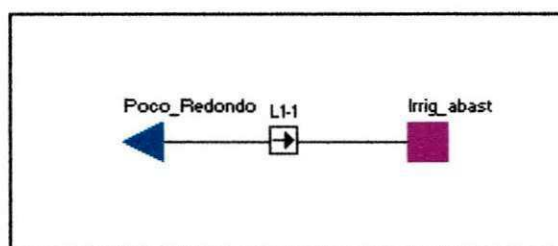
O tipo de simulação escolhido foi a “simulação contínua” com opção de cálculo “estados hidrológicos”, dos quais foram escolhidos 3 estados hidrológicos. Os sistemas foram analisados sob aspectos hídricos e também de atendimento das demandas.

As atribuições de prioridades estabelecidas nas simulações dos cenários hidroclimáticos foram as seguintes: acima de 20% do volume máximo do reservatório todas as demandas (culturas sazonais, perenes e abastecimento urbano) terão igual prioridade de atendimento. No momento em que o reservatório atingir o volume inferior a 20% as culturas sazonais passaram a ter prioridade 20, com volumes abaixo de 15% já não serão irrigadas as culturas sazonais e as culturas perenes terão prioridade 10, se o reservatório atingir volume inferior a 10% o reservatório não contribuirá com demandas para a irrigação, passando a ter maior prioridade (prioridade 1) as demandas para abastecimento.

Para o reservatório, o modelo pede volumes característicos (volume máximo, mínimo e inicial), volume meta, ao qual se atribui as prioridades ditas anteriormente, a série de vazões afluentes ( $m^3/s$ ), taxas evaporativas ( $m/mês$ ) e curva cota x área x volume.

No link ou canal para a irrigação, a capacidade máxima foi estipulada em 100 m<sup>3</sup>/s, para efeito de cálculo.

Finalmente, edição das demandas do melhor cenário médio (MCM), do melhor cenário seco dos melhores (MCSM) e do cenário médio com áreas das culturas perenes fixas em 46 ha (as áreas encontradas nas otimizações das culturas perenes no cenário seco). As demandas mensais utilizadas são a da irrigação (demandas para as culturas sazonais e perenes) e do abastecimento da cidade de Santana de Mangueira. A Figura 6.3 apresenta o layout de como se apresenta o sistema estudado.



**Figura 6.3:** Layout do sistema estudado.

Os resultados são fornecidos pelo Modelo em forma de tabelas e gráficos. A finalidade da simulação nesse trabalho é de encontrar o déficit das demandas para a série histórica de 53 anos, e de posse desses resultados calcular os indicadores de desempenho do reservatório, que são confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade. A Tabela 6.15, expõe todos os dados da edição/entrada no modelo de simulação.



**Tabela 6.15:** Dados solicitados para a simulação.

<b>ENTRADA SOLICITADA PELO ACQUANET</b>											
<b>INFORMAÇÕES GERAIS</b>						<b>DADOS</b>					
Tipo de simulação						Simulação Contínua					
Opção do cálculo						Calibração					
Número total de anos simulados						53 anos (1933-1985)					
<b>RESERVATÓRIO</b>						<b>DADOS</b>					
Volume máximo (Mm <sup>3</sup> )						62					
Volume mínimo e Volume meta (Mm <sup>3</sup> )						6 (10 % V <sub>máx</sub> )					
Volume inicial (Mm <sup>3</sup> )						25 (40% V <sub>máx</sub> )					
Vazões afluentes (m <sup>3</sup> /s)						Em anexo					
Cota (m) x área (km <sup>2</sup> ) x volume (Mm <sup>3</sup> )						107 x 5,4 x 62					
<b>DEMANDAS HÍDRICAS (IRRIG + ABAST) (m<sup>3</sup>/s)</b>											
<b>CENÁRIO MÉDIO (MCM)*</b>											
<b>Demandas das culturas perenes</b>											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0,800	0,363	0,040	0,219	0,540	0,565	0,703	0,893	1,024	1,120	1,069	0,985
<b>Demandas das culturas sazonais</b>											
0,000	0,259	0,166	0,443	0,732	0,228	0,016	0,00	0,004	0,006	0,006	0,015
<b>CENÁRIO SECO (MCSM)*</b>											
<b>Demandas das culturas perenes</b>											
0,050	0,029	0,019	0,028	0,029	0,029	0,036	0,046	0,053	0,058	0,056	0,039
<b>Demandas das culturas sazonais</b>											
0,000	0,001	0,011	0,033	0,053	0,055	0,041	0,025	0,006	0,008	0,009	0,006
<b>CENÁRIO MÉDIO COM ÁREA DAS PERENES FIXAS EM 46 ha</b>											
<b>Demandas das culturas perenes</b>											
0,041	0,019	0,002	0,011	0,028	0,029	0,036	0,046	0,053	0,058	0,055	0,051
<b>Demandas das culturas sazonais</b>											
0,908	0,776	0,400	0,703	1,277	1,148	1,224	1,176	0,635	0,277	0,335	0,641

\*Obs: As demandas tanto do cenário médio (MCM), do cenário seco (MCSM) e do cenário médio com áreas fixas para as perenes de 46 ha foram submetidas a simulação e o capítulo a seguir mostra como se encontraram tais demandas.

## **7. RESULTADOS E ANÁLISES**

### **7.1. RESULTADOS DAS OTIMIZAÇÕES**

Após efetuar as otimizações para os cenários médio e seco obteve-se os seguintes resultados.

#### **7.1.1. CENÁRIO MÉDIO**

As otimizações foram feitas da seguinte forma: primeiro otimizou-se somente a área para as culturas perenes, em seguida a otimização foi feita para a área das culturas sazonais e por último fixou-se a área encontrada na otimização das culturas perenes e otimizou as áreas para as culturas sazonais. Vale ressaltar que, para todas as otimizações, o modelo ORNAP contempla a piscicultura extensiva.

No final das otimizações para o cenário médio, o volume final deve ser maior ou igual ao volume inicial, o horizonte temporal (HT) é de 1 ano, área máxima para irrigação foi de 2.000 ha, e as otimizações se iniciaram no mês agosto.

## 7.1.1.1. CULTURAS PERENES NO CENÁRIO MÉDIO

A otimização para as culturas perenes é necessária para se obter o potencial que o modelo consegue alocar de área para essas culturas. Assim, se houver excedente de água, utilizá-la da melhor forma possível para as culturas sazonais.

A Tabela 7.1 apresenta os resultados da otimização da área para as culturas perenes e dados hidrológicos, como precipitação e evaporação.

A receita líquida (RL) auferida e área irrigada, para as culturas que representam as perenes foram de R\$ 11.058.300,00 e 895 ha (185 alq-goiano), respectivamente, dando um total de 131.598 diárias para mão-de-obra. As Figuras 7.4 e 7.5 comparam todas as otimizações do cenário médio, referente a RL e a área irrigada. A Tabela 7.2 aponta os resultados da piscicultura extensiva.

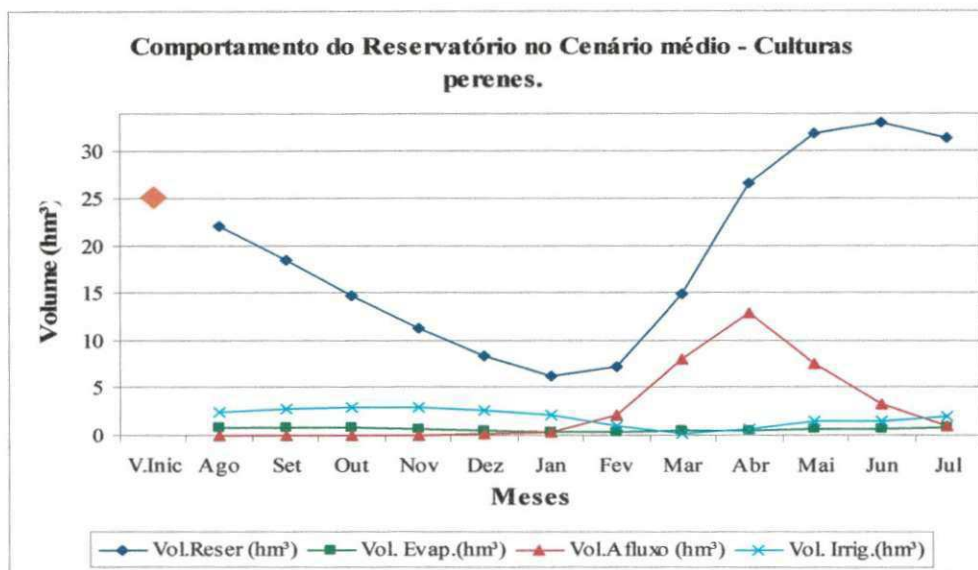
**Tabela 7.1:** Resultado da otimização da área para as culturas perenes no cenário médio e dados hidrológicos.

Meses	Culturas Perenes - Cenário Médio									Dados Hidrológicos	
	Vol. Reserv. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reserv. (%)	Diferença entre Vol. do Reserv. e Vol. Ini. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Evap. (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Irrig (hm <sup>3</sup> /mes)	Vaz. Afluente (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De descarga do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Abast. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De Vertimento do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Prec. (mm)	Evap (mm)
<b>Vol. Máx.</b>	<b>62,751</b>										
<b>Vol. Inicial</b>	<b>1<sup>25,100</sup></b>										
Ago	21,988	35,0	-3,11	0,776	2,394	0,054	0,000	0,013	0,000	1,9	274,8
Set	18,437	29,4	-6,66	0,802	2,745	0,000	0,000	0,013	0,000	2,6	315,1
Out	14,654	23,4	-10,45	0,767	3,002	0,000	0,000	0,013	0,000	5,7	344,7
Nov	11,251	17,9	-13,85	0,637	2,866	0,080	0,000	0,013	0,000	22,5	333,9
Dez	8,328	13,3	-16,77	0,532	2,641	0,187	0,000	0,013	0,000	52,1	332,5
Jan	6,275	10,0	-18,82	0,408	2,145	0,402	0,000	0,013	0,000	80,6	300,7
Fev	7,268	11,6	-17,83	0,316	0,980	2,143	0,003	0,013	0,000	123,9	213,9
Mar	14,826	23,6	-10,27	0,438	0,107	7,928	0,000	0,013	0,000	197,3	195,5
Abr	26,582	42,4	1,48	0,537	0,587	12,856	0,000	0,013	0,000	124,2	170,0
Mai	31,910	50,9	6,81	0,645	1,449	7,446	0,000	0,013	0,000	37,0	183,1
Jun	33,065	52,7	7,96	0,634	1,516	3,294	0,000	0,013	0,000	19,1	176,0
Jul	31,444	50,1	6,34	0,756	1,886	0,991	0,000	0,013	0,000	10,5	216,4
<b>Méd.</b>	<b>18,836</b>	<b>30,0</b>	<b>-</b>	<b>0,604</b>	<b>1,860</b>	<b>2,948</b>	<b>0,000</b>	<b>0,013</b>	<b>0,000</b>	<b>56,45</b>	<b>254,7</b>
<b>Total</b>	<b>226,028</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>7,248</b>	<b>22,311</b>	<b>35,382</b>	<b>0,003</b>	<b>0,156</b>	<b>0,000</b>	<b>677,4</b>	<b>3.056,6</b>

<sup>1</sup>valor correspondente a 40% do volume máximo.

**Tabela 7.2:** Resultados da piscicultura extensiva que foi otimizada contemplando as culturas perenes no cenário médio.

VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS DA PISC. EXT + CULT. PER
Área mínima (km <sup>2</sup> )	1,356
Produção de pescado (ton)	27,13
Mão de obra (pescadores)	18
Receita líquida (R\$)	40.689,19



**Figura 7.1:** Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário médio durante a otimização da área para as culturas perenes.

Com a otimização iniciando com volume inicial de 40% do volume máximo, pode-se observar que o modelo respeita a condição de sustentabilidade hídrica do reservatório, já que o volume, ao final da otimização, no mês de julho, foi maior que o volume inicial. Nestas condições, entre os meses de julho a janeiro, o volume do reservatório cai gradativamente atingindo o volume mínimo no mês de janeiro, limitando a área que se pode irrigar.

Com relação ao excesso de água nos últimos 4 meses, a justificativa para isso, é que nesses meses a área total das culturas perenes (895 ha) já foi atingida pela irrigação, essa sobra coincide com as maiores afluições ao reservatório. Pode-se observar ainda, que as maiores

demandas para a irrigação se efetuam entre os meses de maio a janeiro tendo um pico no mês de outubro, que coincide com os meses de baixas precipitações e menores afluências. Houve uma pequena perda de água com descargas do reservatório no mês de fevereiro.

Para a piscicultura extensiva, o modelo alocou uma área de 1,356 km<sup>2</sup>, com produção de 27,13 toneladas de pescado que seria capaz de empregar 18 pescadores, sem comprometer água para irrigação e abastecimento, dando um a RL de R\$ 40.689,19.

### 7.1.1.2. CULTURAS SAZONAIS NO CENÁRIO MÉDIO

A otimização da alocação de áreas para as culturas sazonais foi necessária para se observar como comporta o reservatório Poço Redondo perante a exigência de água de cada cultura sazonal de acordo com seu plano cultural. As Tabelas 7.3 e 7.4 expõem os resultados encontrados para a piscicultura extensiva e otimização das áreas das culturas sazonais. Já a Tabela 7.5 apresenta os resultados referentes à RL auferida, área alocada para irrigação, diárias e período cultural. Todos os resultados desta otimização podem ser melhor observados nas Figuras 7.2, 7.4 e 7.5.

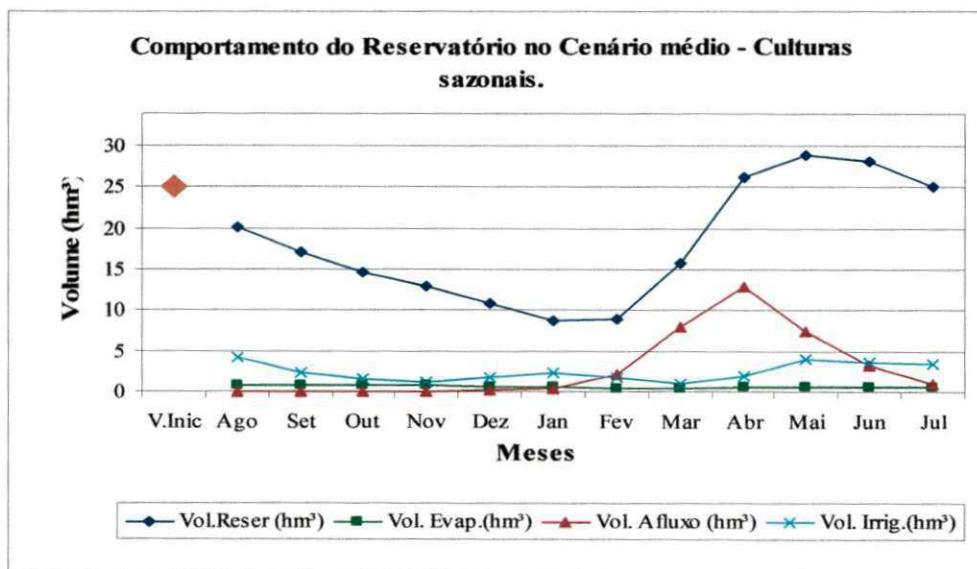
**Tabela 7.3:** Resultados da piscicultura extensiva que foi otimizada contemplando as culturas sazonais no cenário médio.

VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS DA PISC. EXT. + CULT. SAZ.
Área mínima (km <sup>2</sup> )	1,640
Produção de pescado (ton)	32,79
Mão de obra (pescadores)	22
Receita líquida (R\$)	49.191,17

**Tabela 7.4:** Resultado da otimização das áreas das culturas sazonais no cenário médio e dados hidrológicos.

Meses	Culturas Sazonais - Cenário Médio									Dados Hidrológicos	
	Vol. Reserv. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reserv. (%)	Diferença entre Vol. do Reserv. e Vol. Ini. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Evap. (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Irrig (hm <sup>3</sup> /mes)	Vaz. Afluente (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De descarga do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Abast. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De Vertimento do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Prec. (mm)	Evap (mm)
<b>Vol. Máx.</b>	<b>62,751</b>										
<b>Vol. Inicial</b>	<b>25,100</b>										
Ago	20,210	32,2	-4,890	0,739	4,232	0,054	0,000	0,013	0,000	1,9	274,8
Set	17,065	27,2	-8,035	0,767	2,368	0,000	0,000	0,013	0,000	2,6	315,1
Out	14,679	23,4	-10,421	0,768	1,599	0,000	0,000	0,013	0,000	5,7	344,7
Nov	12,897	20,6	-12,203	0,690	1,192	0,080	0,000	0,013	0,000	22,5	333,9
Dez	10,900	17,4	-14,200	0,623	1,639	0,187	0,000	0,013	0,000	52,1	332,5
Jan	8,679	13,8	-16,421	0,493	2,255	0,402	0,000	0,013	0,000	80,6	300,7
Fev	8,907	14,2	-16,193	0,356	1,741	2,143	0,000	0,013	0,000	123,9	213,9
Mar	15,688	25,0	-9,412	0,453	0,911	7,928	0,000	0,013	0,000	197,3	195,5
Abr	26,118	41,6	1,018	0,532	1,955	12,856	0,000	0,013	0,000	124,2	170,0
Mai	28,930	46,1	3,830	0,609	4,052	7,446	0,000	0,013	0,000	37,0	183,1
Jun	28,055	44,7	2,955	0,574	3,645	3,294	0,000	0,013	0,000	19,1	176,0
Jul	25,100	40,0	0,000	0,661	3,335	0,991	0,000	0,013	0,000	10,5	216,4
<b>Méd.</b>	<b>18,103</b>	<b>28,8</b>	<b>-</b>	<b>0,605</b>	<b>2,410</b>	<b>2,948</b>	<b>0,000</b>	<b>0,013</b>	<b>0,000</b>	<b>56,45</b>	<b>254,7</b>
<b>Total</b>	<b>217,228</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>7,265</b>	<b>28,924</b>	<b>35,382</b>	<b>0,000</b>	<b>0,156</b>	<b>0,000</b>	<b>677,4</b>	<b>3.056,6</b>

<sup>1</sup>valor correspondente a 40% do volume máximo.

**Figura 7.2:** Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário médio durante a otimização das áreas das culturas representativa das sazonais.

**Tabela 7.5:** Resultados referentes à RL auferida, área alocada na irrigação, mão de obra (em diárias) e período cultural da otimização das áreas das culturas sazonais.

Culturas	Culturas Sazonais				Período de cultivo
	Receita Líquida (R\$)	Áreas Irrigadas		Diárias	
		Hectares	Alqueires*		
<i>Perenes</i>	-	-	-	-	Ano todo
<i>Sazonal 1</i>	1.515.530,00	322,03	71,88	47.379	Jan-Abr
<i>Sazonal 2</i>	2.588.940,00	550,12	122,79	80.936	Fev-Mai
<i>Sazonal 3</i>	3.541.200,00	752,46	167,96	110.706	Mar-Jun
<i>Sazonal 4</i>	223.840,00	47,56	10,62	6.998	Abr-Jul
<i>Sazonal 5</i>	3.058.340,00	649,86	145,06	95.611	Mai-Ago
<i>Sazonal 6</i>	1.621.030,00	344,45	76,89	50.677	Jun-Set
<i>Sazonal 7</i>	766.580,00	162,89	36,36	23.965	Jul-Out
<i>Sazonal 8</i>	432.760,00	91,96	20,53	13.529	Ago-Nov
<i>Sazonal 9</i>	16.830,00	3,58	0,80	526	Set-Dez
<i>Sazonal 10</i>	668.630,00	142,08	31,71	20.903	Out-Jan
<i>Sazonal 11</i>	352.070,00	74,81	16,70	11.006	Nov-Fev
<i>Sazonal 12</i>	1.154.750,00	245,37	54,77	36.100	Dez-Mar
<b>TOTAL</b>	<b>14.940.500,00</b>	<b>3387,17</b>	<b>756,06</b>	<b>498.335</b>	-

\* 1 alq (goiano) = 4,84 hectares

Para as culturas sazonais, a utilização da água do reservatório foi excelente, pois o volume no final da otimização foi igual ao volume inicial do mês de agosto (40% volume máximo), respeitando a condição de sustentabilidade hídrica e evidenciando a plena utilização da água disponível para atender as demandas sem atingir o limite mínimo de 10% do volume máximo. A depleção do reservatório ocorre entre os meses de julho até janeiro, coincidindo com os meses de menores vazões afluentes, e a recuperação ocorre entre os meses de fevereiro a junho.

As demandas para a irrigação foram distribuídas, em média de 2,410 hm<sup>3</sup>/mês, com a mínima no mês de março, mês com maior precipitação, e máxima demanda no mês de agosto, precipitação de 1,9 mm, a menor da série. Não houve perdas de água com vertimentos e descargas, mostrando que foi utilizada toda a água disponível.

Na otimização das áreas para as culturas sazonais, a maior área alocada foi para a sazonal 3 com área de 752,46 ha, seguida pela sazonal 5 com área de 649,86 ha, e RL correspondente a R\$ 3.541.200,00 e 3.058.340,00, respectivamente. A RL total com agricultura irrigada para culturas sazonais foi de R\$ 14.940.500,00, alocando 498.335 diárias.

A RL auferida para a piscicultura extensiva foi de quase R\$ 50.000,00 gerando renda para 22 pescadores que produziram 32,79 toneladas de pescado.

### 7.1.1.3. CULTURAS PERENES (FIXAS) E SAZONAIS NO CENÁRIO MÉDIO

A otimização das áreas irrigadas para as culturas sazonais, para este cenário, foi realizada a partir da fixação da área encontrada para as culturas perenes, que foi de 895 hectares. As Tabelas 7.6 e 7.7 apresentam respectivamente os resultados encontrados para a piscicultura extensiva e da otimização das áreas das culturas sazonais com área para as culturas perenes fixas,. Já a Tabela 7.8 exibe os resultados referentes à RL auferida, área alocada para irrigação, diárias e período de cultivo. Os resultados podem se melhor visualizados nas Figuras 7.3, 7.4 e 7.5.

**Tabela 7.6:** Resultado referente à piscicultura extensiva otimizada em conjunto com as culturas perenes (fixas) e sazonais no cenário médio.

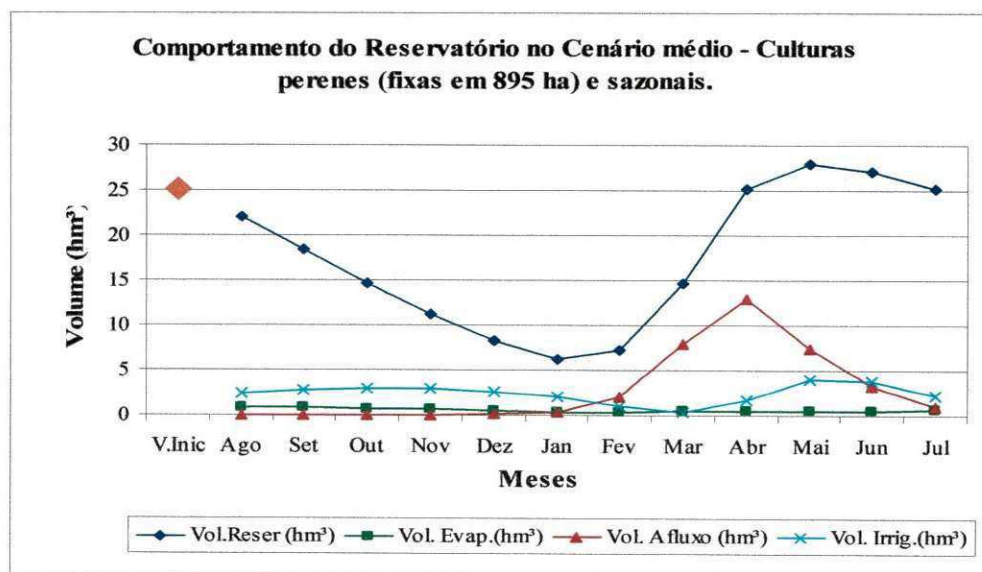
VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS PISC. EXT + CULT. PER/SAZ
Área mínima (km <sup>2</sup> )	1,356
Produção de pescado (ton)	27,13
Mão de obra (pescadores)	18
Receita líquida (R\$)	40.691,92



**Tabela 7.7:** Resultado da otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área para as culturas perenes (fixas em 895 ha) no cenário médio e dados hidrológicos.

Meses	Culturas Perenes (fixa 895) e Sazonais - Cenário Médio									Dados Hidrológicos	
	Vol. Reserv. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reserv. (%)	Diferença entre Vol. do Reserv. e Vol. Ini. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Evap. (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Irrig (hm <sup>3</sup> /mes)	Vaz. Afluente (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De descarga do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Abast. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De Vertimento do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Prec. (mm)	Evap (mm)
<b>Vol. Máx.</b>	<b>62,751</b>										
<b>Vol. Inicial</b>	<b>25,100</b>										
Ago	21,983	35,0	-3,117	0,776	2,400	0,054	0,000	0,013	0,000	1,9	274,8
Set	18,426	29,4	-6,674	0,802	2,751	0,000	0,000	0,013	0,000	2,6	315,1
Out	14,647	23,3	-10,445	0,767	3,000	0,000	0,000	0,013	0,000	5,7	344,7
Nov	11,247	17,9	-13,853	0,637	2,863	0,080	0,000	0,013	0,000	22,5	333,9
Dez	8,327	13,3	-16,773	0,532	2,638	0,187	0,000	0,013	0,000	52,1	332,5
Jan	6,276	10,0	-18,824	0,408	2,143	0,402	0,000	0,013	0,000	80,6	300,7
Fev	7,237	11,5	-17,863	0,315	1,007	2,143	0,003	0,013	0,000	123,9	213,9
Mar	14,612	23,3	-10,488	0,434	0,262	7,928	0,035	0,013	0,000	197,3	195,5
Abr	25,205	40,2	0,105	0,521	1,757	12,856	0,035	0,013	0,000	124,2	170,0
Mai	28,017	44,6	2,917	0,597	4,034	7,446	0,029	0,013	0,000	37,0	183,1
Jun	26,990	43,0	1,890	0,561	3,787	3,294	0,027	0,013	0,000	19,1	176,0
Jul	25,106	40,0	0,006	0,661	2,226	0,991	0,019	0,013	0,000	10,5	216,4
<b>Méd.</b>	<b>17,339</b>	<b>27,6</b>	<b>-</b>	<b>0,584</b>	<b>2,406</b>	<b>2,948</b>	<b>0,012</b>	<b>0,013</b>	<b>0,000</b>	<b>56,45</b>	<b>254,7</b>
<b>Total</b>	<b>208,081</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>7,011</b>	<b>28,868</b>	<b>35,382</b>	<b>0,147</b>	<b>0,156</b>	<b>0,000</b>	<b>677,4</b>	<b>3.056,6</b>

<sup>1</sup>valor correspondente a 40% do volume máximo.

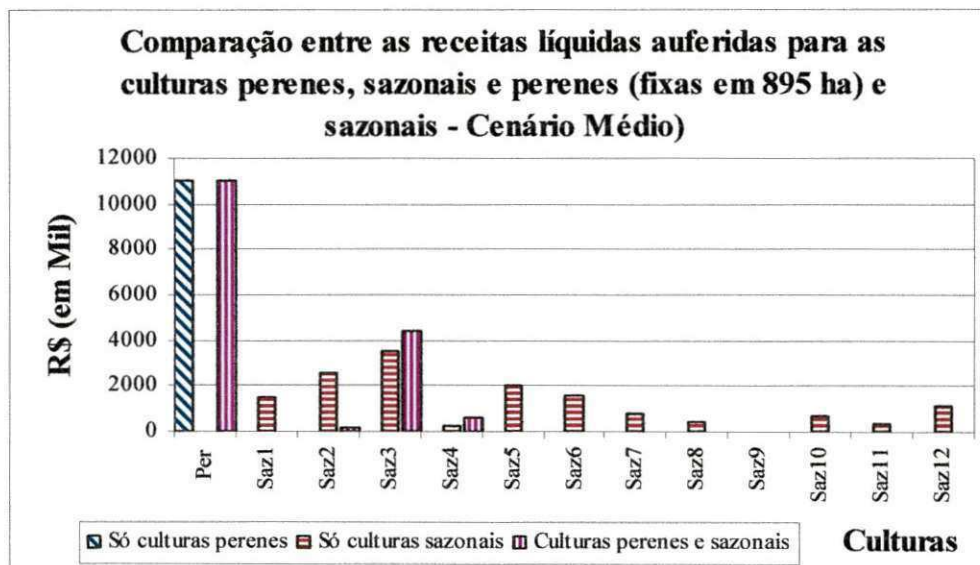


**Figura 7.3:** Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário médio durante a otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área para as culturas perenes (fixas em 895 ha).

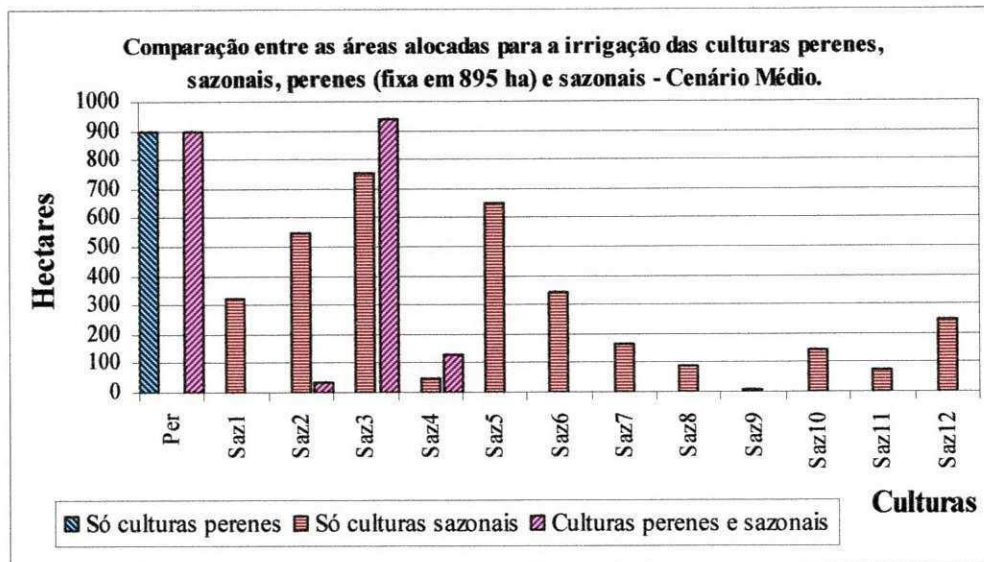
**Tabela 7.8:** Resultados referentes à RL auferida, área alocada na irrigação, mão de obra (em diárias) e período cultural da otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área para as culturas perenes (fixas em 895 ha).

Culturas	Culturas Perenes (fixa em 895 ha) e Sazonais				Período de cultivo
	Receita Líquida (R\$)	Áreas Irrigadas		(Diária)	
		Hectares	Alqueires		
Perenes	11.056.100,00	895,00	184,92	131.453	Ano todo
Sazonal 1	230,00	0,05	0,01	7	Jan-Abr
Sazonal 2	149.050,00	31,67	6,54	4.660	Fev-Mai
Sazonal 3	4.431.750,00	941,69	194,56	138.847	Mar-Jun
Sazonal 4	619.160,00	131,56	27,18	80.070	Abr-Jul
Sazonal 5	290,00	0,06	0,01	9	Mai-Ago
Sazonal 6	9940,00	2,11	0,44	311	Jun-Set
Sazonal 7	0,00	0,00	0,00	0	Jul-Out
Sazonal 8	10,00	0,00	0,00	0	Ago-Nov
Sazonal 9	340,00	0,07	0,01	11	Set-Dez
Sazonal 10	0,00	0,00	0,00	0	Out-Jan
Sazonal 11	0,00	0,00	0,00	0	Nov-Fev
Sazonal 12	0,00	0,00	0,00	0	Dez-Mar
<b>TOTAL</b>	<b>16.266.870,00</b>	<b>2002,21</b>	<b>413,68</b>	<b>294.354</b>	-

\* 1 alq (goiano) = 4,84 hectares



**Figura 7.4:** Comparação entre as RL auferida para as culturas perenes, sazonais e perenes (fixas em 895 ha) e sazonais no cenário médio.



**Figura 7.5:** Área alocada na irrigação para as culturas perenes, sazonais e perenes (fixa 895 ha) e sazonais no cenário médio.

Na otimização da alocação de área para as culturas sazonais, mantendo a área das perenes fixas, a utilização da água do reservatório foi muito boa, pois ao final do período da otimização o volume do reservatório estava muito próximo do volume inicial havendo uma pequena sobra de  $0,006 \text{ hm}^3$ , nesse caso o modelo também respeita a condição de sustentabilidade hídrica. Observou-se também que o reservatório atingiu o limite mínimo de volume (10% vol. Máx), no mês de janeiro, tendo certa dificuldade de se recuperar no mês seguinte (fevereiro), onde seu volume ficou próximo do mínimo. Mas, de certa forma houve uma boa utilização da água que estava disponível no reservatório, apesar de terem ocorrido vazões de descarga do reservatório dos meses de fevereiro até julho, coincidindo com meses em que teve maiores vazões afluentes. Ainda verifica-se que a partir do mês de julho até o mês de janeiro, o volume do reservatório cai gradativamente, mas recupera-se entre os meses de fevereiro a junho, meses com maiores afluências.

Quanto às demandas para irrigação obteve-se uma média de  $2,406 \text{ hm}^3/\text{mês}$ , atingindo maior demanda no mês de maio, em razão da área alocada para esse mês ser a maior, isto porque abrange as áreas das sazonais 2, 3, 4 e 5 além da área das culturas perenes, neste mês as precipitações foram baixas (média de 37 mm). Já a menor demanda por água foi no mês de março, coincidindo com o mês em que se obtiveram maiores precipitações.

Para a otimização onde se fixou a área das culturas perenes (895 ha) e otimizou a área para as sazonais, o modelo alocou maior área para a sazonal 3, o segundo lugar foi para a sazonal 4, com 941,69 ha (RL = R\$ 4.431.750,00) e 131,56 ha (RL = R\$ 619.160,00), respectivamente. Entre as sazonais 5 e 12 o modelo praticamente não alocou área para irrigação recuperando-se hidricamente a fim de se atender a sustentabilidade hídrica imposta. A receita líquida total com agricultura irrigada para perenes (fixa)/sazonais foi de R\$ 16.266.870,00, gerando 294.354 diárias.

Quanto à piscicultura extensiva, o modelo alocou área mínima de 1,356 km<sup>2</sup> produzindo 27,13 toneladas de pescado garantindo emprego a 18 pescadores e auferindo receita líquida de R\$ 40.691,92.

### 7.1.2. CENÁRIO SECO

O cenário seco basicamente se divide em 2 etapas: uma, as otimizações são rodadas com o horizonte temporal (HT) de 1 ano, a outra, com HT de 2 anos. Para as duas etapas foi-se flexibilizando volume final (FVF), que significa uma percentagem do volume inicial, até encontrar solução viável. Como no cenário médio, a área máxima adotada para a irrigação também foi de 2.000 ha e levou-se em consideração a piscicultura extensiva. Ao final das otimizações, o passo seguinte foi a escolha do melhor cenário seco (MCS) para depois submetê-lo às condições iniciais de cada mês (Figura 6.1).

No cenário seco as otimizações foram feitas com os dados de pluviometria e fluviometria para os anos de 1958 e 1959, como foi comentando anteriormente. Sendo as otimizações com HT de 1 ano utilizando somente os dados de 1958 e para o HT de 2 anos empregou-se os dois anos, significando um período crítico, ano muito seco seguido de um outro ano seco.

As otimizações foram feitas praticamente da mesma forma como foram realizadas para o cenário médio, ou seja, primeiro otimizando a área das culturas perenes, depois fixando as áreas das culturas perenes obtidas anteriormente e otimizar a alocação de áreas para as culturas sazonais e, por fim, otimizar somente as áreas das culturas sazonais para verificar as exigências de água dessas culturas.

As otimizações da alocação de áreas para as culturas se iniciaram com o requerimento de sustentabilidade hídrica (volume final maior ou igual ao volume inicial), mas só encontrou-se solução viável quando se flexibilizou o volume final (FVF) em uma percentagem de 70% do volume inicial, isto é  $V_f \geq 70\% V_i$ , isso para HT de 1 ano. Para HT de 2 anos obteve-se solução viável a partir de uma FVF em 50% do volume inicial. Entre esses dois resultados escolheu-se como melhor cenário seco (MCS) o cenário que considera a FVF de 70% para HT de 1 ano. A escolha desse cenário foi pelo fato de garantir maior quantidade de água no reservatório ao final das otimizações a fim de evitar um colapso no sistema.

### 7.1.2.1 CULTURAS PERENES NO CENÁRIO SECO

A otimização de áreas para as culturas perenes é necessária para se determinar o quanto de área irrigada o modelo consegue alocar para essas culturas. As Tabelas 7.9 e 7.10 mostram resultados da otimização para este cenário, ou seja, as culturas perenes e piscicultura extensiva no cenário seco com FVF em 70%. A receita líquida auferida foi da ordem de R\$ 576.730,00 e área irrigada igual a 46 ha (9,5 alq-goiano), dando um total de 6.863 diárias para mão-de-obra. As Figuras 7.6, 7.9 e 7.10 dão uma melhor visualização do comportamento do reservatório e mostram graficamente a comparação da RL auferida e área irrigada entre as culturas perenes, sazonais e perene/sazonais.

**Tabela 7.9:** Resultados da piscicultura extensiva que foi otimizada em conjunto com as culturas perenes no cenário seco e HT de 1 ano e FVF em 70%.

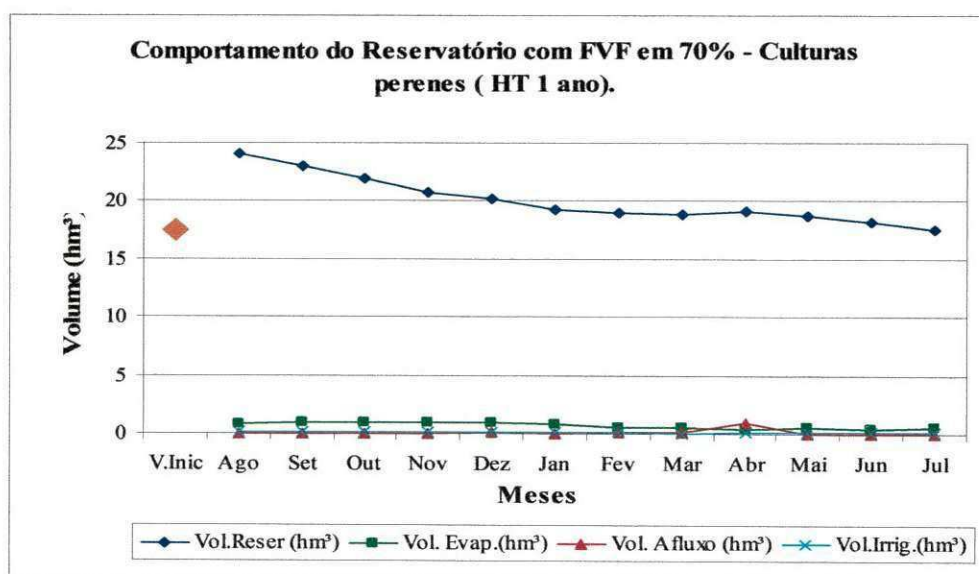
VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS FVF 70% PISC. EXT. + CULT. PER.
Área mínima (km <sup>2</sup> )	2,476
Produção de pescado (ton)	49,51
Mão de obra (pescadores)	33
Receita líquida (R\$)	74.270,17

**Tabela 7.10:** Resultados da otimização da área das culturas perenes para o cenário seco com HT de 1 ano e FVF em 70%.

Meses	Culturas Perenes - Cenário Seco (FVF 70%)									Dados Hidrológicos	
	Vol. Reserv. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reserv. (%)	Diferença entre Vol. do Reserv. e Vol. Ini. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Evap. (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Irrig (hm <sup>3</sup> /mes)	Vaz. Afluente (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De descarga do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Abast. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De Vertimento do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Prec. (mm)	Evap (mm)
<b>Vol. Máx.</b>	<b>62,751</b>										
<b>Vol. Inicial</b>	<b>25,100</b>										
Ago	24,126	38,4	6,556	0,820	0,126	0,000	0,000	0,000	0,013	0,00	274,8
Set	23,034	36,7	5,464	0,915	0,142	0,000	0,000	0,000	0,013	0,00	315,1
Out	21,868	34,8	4,298	0,971	0,155	0,000	0,000	0,000	0,013	0,00	344,7
Nov	20,767	33,1	3,197	0,912	0,153	0,000	0,000	0,000	0,013	0,00	333,9
Dez	20,208	32,2	2,638	0,894	0,104	0,000	0,000	0,134	0,013	122,80	332,5
Jan	19,306	30,8	1,736	0,787	0,137	0,000	0,000	0,054	0,013	0,00	300,7
Fev	18,925	30,2	1,355	0,553	0,080	0,000	0,000	0,107	0,013	63,50	213,9
Mar	18,786	29,9	1,216	0,504	0,051	0,000	0,000	0,161	0,013	105,90	195,5
Abr	19,167	30,5	1,597	0,443	0,078	0,000	0,000	0,937	0,013	0,00	170,0
Mai	18,697	29,8	1,127	0,470	0,080	0,000	0,000	0,027	0,013	27,50	183,1
Jun	18,172	29,0	0,602	0,445	0,080	0,000	0,000	0,000	0,013	7,00	176,0
Jul	<sup>1</sup> 17,570	28,0	0,000	0,536	0,096	0,000	0,000	0,000	0,013	20,70	216,4
<b>Méd.</b>	<b>20,052</b>	<b>32,0</b>	<b>-</b>	<b>0,687</b>	<b>0,107</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,118</b>	<b>0,013</b>	<b>28,95</b>	<b>254,7</b>
<b>Total</b>	<b>240,626</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>8,248</b>	<b>1,283</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>1,420</b>	<b>0,156</b>	<b>347,40</b>	<b>3.056,6</b>

<sup>1</sup> volume inicial (40% do volume máximo)

<sup>2</sup> volume ao final da otimização deverá ser maior ou igual a 70% do volume inicial.

**Figura 7.6:** Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário seco para culturas perenes com FVF de 70% e HT de 1 ano.

A utilização da água do reservatório foi excelente para este cenário, pois o modelo respeita a condição de flexibilização do volume final (FVF) em 70% do volume inicial, já que, o volume ao final do período considerado na otimização foi exatamente o mesmo de 70% do volume inicial (17,570 hm<sup>3</sup>), evidenciando a plena utilização da água disponível para atender as demandas de irrigação e abastecimento, sem atingir o limite mínimo de 10% do volume máximo (6,275 hm<sup>3</sup>).

As demandas para a irrigação foram, em média, de 0,107 hm<sup>3</sup>/mês, com a mínima no mês de março, mês com maior precipitação e as maiores demandas foram alocadas entre os meses de agosto e janeiro, meses que não registraram ocorrências de chuvas com exceção do mês de dezembro. Neste último, apesar da precipitação ter sido de 122,80 mm, a vazão de irrigação foi uma das maiores, isto porque a chuva ocorrida, não foi suficiente para atingir o limite máximo de disponibilidade de água presente no solo para as culturas (capacidade de campo) necessitando assim demandar água do reservatório.

A RL auferida para a piscicultura extensiva foi de quase R\$ 74.270,00 gerando renda para 33 pescadores produzindo 49,51 toneladas de pescado.

#### **7.1.2.2. CULTURAS SAZONAIS NO CENÁRIO SECO**

A otimização de áreas das culturas sazonais é útil para se analisar o desempenho do reservatório diante das exigências de água das culturas sazonais de acordo com seu período de cultura. As Tabelas 7.11 e 7.12 exibem os resultados encontrados para as otimizações das culturas sazonais e da piscicultura extensiva. A Tabela 7.13 apresenta os resultados referentes à RL auferida, área alocada para irrigação, diárias e período cultural. Todos os resultados dessa otimização podem ser melhor observados nas Figuras 7.7, 7.9 e 7.10.

**Tabela 7.11:** Resultados da otimização de áreas das culturas sazonais no cenário seco com HT de 1 ano FVF em 70%.

Meses	Culturas Sazonais - Cenário Seco (FVF em 70%)									Dados Hidrológicos	
	Vol. Reserv. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reserv. (%)	Diferença entre Vol. do Reserv. e Vol. Ini. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Evap. (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Irrig (hm <sup>3</sup> /mes)	Vaz. Afluente (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De descarga do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Abast. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De Vertimento do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Prec. (mm)	Evap (mm)
<b>Vol. Máx.</b>	<b>62,751</b>										
<b>Vol. inicial</b>	<b>25,100</b>										
Ago	23,879	38,1	6,309	0,815	0,308	0,072	0,000	0,000	0,013	0,00	274,8
Set	22,587	36,0	5,017	0,904	0,354	0,000	0,000	0,000	0,013	0,00	315,1
Out	21,382	34,1	3,812	0,958	0,209	0,000	0,000	0,000	0,013	0,00	344,7
Nov	20,274	32,3	2,704	0,899	0,171	0,000	0,000	0,000	0,013	0,00	333,9
Dez	19,824	31,6	2,254	0,884	0,000	0,000	0,000	0,134	0,013	122,80	332,5
Jan	19,063	30,4	1,493	0,781	0,000	0,000	0,000	0,054	0,013	0,00	300,7
Fev	18,762	29,9	1,192	0,550	0,000	0,000	0,000	0,107	0,013	63,50	213,9
Mar	18,673	29,8	1,103	0,502	0,000	0,000	0,000	0,161	0,013	105,90	195,5
Abr	19,130	30,5	1,560	0,442	0,000	0,000	0,000	0,937	0,013	0,00	170,0
Mai	18,737	29,9	1,167	0,471	0,000	0,000	0,000	0,027	0,013	27,50	183,1
Jun	18,206	29,0	0,636	0,445	0,086	0,000	0,000	0,000	0,013	7,00	176,0
Jul	<sup>1</sup> 17,570	28,0	0,000	0,536	0,131	0,000	0,000	0,000	0,013	20,70	216,4
<b>Méd.</b>	<b>19,841</b>	<b>31,6</b>	<b>-</b>	<b>0,682</b>	<b>0,105</b>	<b>0,006</b>	<b>0,000</b>	<b>0,118</b>	<b>0,013</b>	<b>28,95</b>	<b>254,7</b>
<b>Total</b>	<b>238,087</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>8,187</b>	<b>1,259</b>	<b>0,072</b>	<b>0,000</b>	<b>1,420</b>	<b>0,156</b>	<b>347,40</b>	<b>3.056,6</b>

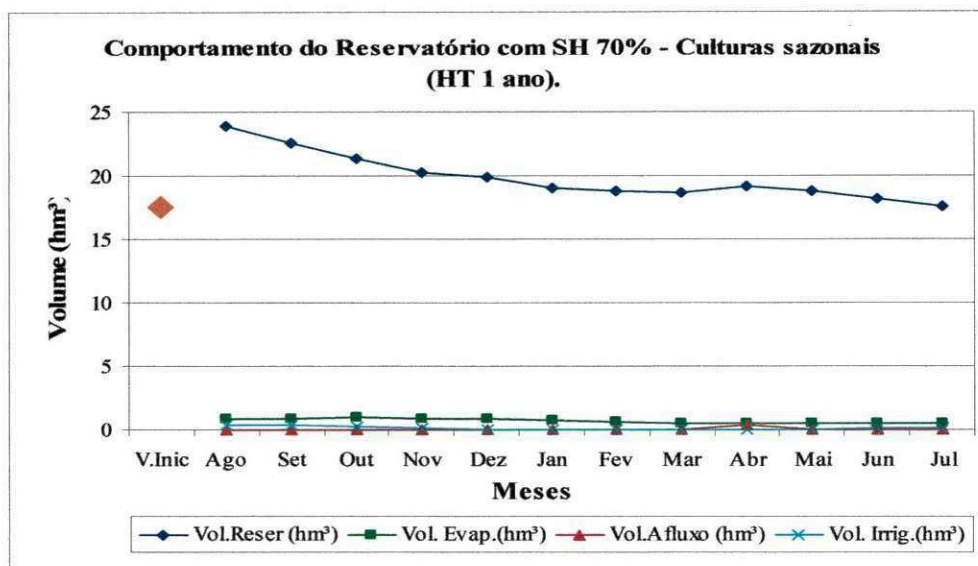
<sup>1</sup> volume inicial (40% do volume máximo)

<sup>2</sup> volume ao final da otimização deverá ser maior ou igual a 70% do volume inicial.

**Tabela 7.12:** Resultados da piscicultura extensiva que foi otimizada em conjunto com as culturas sazonais no cenário seco e HT de 1 ano e FVF em 70%.

VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS FVF 70% PISC. EXT. + CULT. SAZ.
Área mínima (km <sup>2</sup> )	2,476
Produção de pescado (ton)	49,51
Mão de obra (pescadores)	33
Receita líquida (R\$)	74.270,32





**Figura 7.7:** Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário seco para culturas sazonais com FVF em 70% e HT de 1 ano.

**Tabela 7.13:** Resultados referentes à RL auferida, área alocada na irrigação, diárias e período cultural das otimizações de áreas das culturas sazonais com HT de 1 ano e FVF em 70%.

Culturas	Culturas sazonais FVF 70%				Período de cultivo
	Receita Líquida (R\$)	Áreas Irrigadas		Diárias	
		Hectares	Alqueires*		
Perenes	-	-	-	-	Ano todo
Sazonal 1	0,00	0,00	0,00	0	Jan-Abr
Sazonal 2	60,00	0,01	0,00	2	Fev-Mai
Sazonal 3	360,00	0,08	0,02	11	Mar-Jun
Sazonal 4	10,00	0,00	0,00	0	Abr-Jul
Sazonal 5	20,00	0,01	0,00	1	Mai-Ago
Sazonal 6	235.820,00	50,11	10,35	7.372	Jun-Set
Sazonal 7	0,00	0,00	0,00	0	Jul-Out
Sazonal 8	203.520,00	43,25	8,94	6.636	Ago-Nov
Sazonal 9	80,00	0,02	0,00	3	Set-Dez
Sazonal 10	210,00	0,05	0,01	7	Out-Jan
Sazonal 11	0,00	0,00	0,00	0	Nov-Fev
Sazonal 12	0,00	0,00	0,00	0	Dez-Mar
<b>TOTAL</b>	<b>440.080,00</b>	<b>93,53</b>	<b>19,32</b>	<b>13.759</b>	-

\* 1 alq (goiano) = 4,84 hectares

Na otimização das áreas para as sazonais o reservatório utiliza muito bem suas águas, pois o modelo respeita a condição FVF em 70% do volume inicial. Era esperado que todas as demandas fossem atendidas pois as áreas irrigadas são determinadas para isso. Contudo, as áreas são menores implicando em demandas menores. Observa-se que o volume do reservatório

diminui com o passar dos meses, exceto o volume do mês de abril, reflexo das vazões afluentes dos meses anteriores.

As culturas que tiveram maior exigência de água foram as sazonais 6 e 8, únicas culturas para as quais o modelo alocou área para irrigação, 50,11 e 43,25 ha gerando receita líquida de R\$ 235.820,00 e R\$ 203.520,00, respectivamente. Tais culturas têm período de cultivo entre os meses junho a setembro para a sazonal 6 e agosto a novembro para a sazonal 8, coincidindo justamente com os meses que demandam água do reservatório.

A receita líquida gerada pela agricultura irrigada no cenário seco para as culturas sazonais foi de R\$ 440.080,00 gerando um total de 13.759 diárias. O modelo alocou área mínima de 2,476 km<sup>2</sup> para a piscicultura extensiva, que irá produzir quase 50 toneladas de peixes, proporcionando RL de R\$ 74.270,32, empregando 33 pescadores.

### 7.1.2.3. CULTURAS PERENES (FIXAS) E SAZONAIS NO CENÁRIO SECO

Esse cenário é realizado a partir da fixação de áreas para as culturas perenes, que foi de 46 ha, e otimização das áreas para as culturas sazonais e produziu os resultados apresentados na Tabela 7.15. A Tabela 7.14 mostra os resultados da piscicultura extensiva. Já a Tabela 7.16 exhibe os resultados referentes à RL auferida, área alocada para irrigação, diárias e período cultural. Os resultados são melhor visualizados nas Figuras 7.8, 7.9 e 7.10.

**Tabela 7.14:** Resultado referente à piscicultura extensiva otimizada contemplando a otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área das perenes - cenário seco com HT de 1 ano e FVF em 70%.

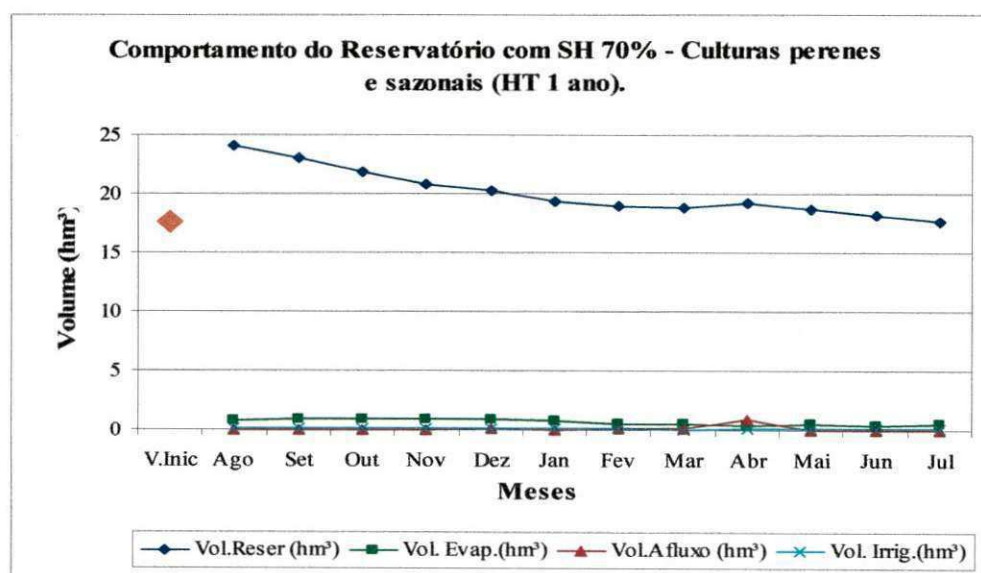
VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS FVF 70% PISC. EXT. + CULT. PER/SAZ.
Área mínima (km <sup>2</sup> )	2,476
Produção de pescado (ton)	49,51
Mão de obra (pescadores)	33
Receita líquida (R\$)	74.270,99

**Tabela 7.15:** Resultados da otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área das perenes - cenário seco com HT de 1 ano com FVF em 70%.

Meses	Culturas Perenes (fixas em 46 ha) e Sazonais - Cenário Seco (FVF em 70%)										Dados Hidrológicos	
	Vol. Reserv. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reserv. (%)	Diferença entre Vol. do Reserv. e Vol. Ini. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Evap. (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Irrig (hm <sup>3</sup> /mes)	Vaz. Afluente (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De descarga do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Abast. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De Vertimento do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Prec. (mm)	Evap (mm)	
<b>Vol. Máx.</b>	<b>62,751</b>											
<b>Vol. Inicial</b>	<b>25,100</b>											
Ago	24,128	38,5	6,558	0,820	0,123	0,000	0,000	0,000	0,013	0,00	274,8	
Set	23,038	36,7	5,468	0,915	0,142	0,000	0,000	0,000	0,013	0,00	315,1	
Out	21,874	34,9	4,304	0,971	0,155	0,000	0,000	0,000	0,013	0,00	344,7	
Nov	20,775	33,1	3,205	0,912	0,150	0,000	0,000	0,000	0,013	0,00	333,9	
Dez	20,218	32,2	2,648	0,894	0,104	0,000	0,000	0,134	0,013	122,80	332,5	
Jan	19,318	30,8	1,748	0,787	0,134	0,000	0,000	0,054	0,013	0,00	300,7	
Fev	18,934	30,2	1,364	0,553	0,083	0,000	0,000	0,107	0,013	63,50	213,9	
Mar	18,791	29,9	1,221	0,503	0,054	0,000	0,000	0,161	0,013	105,90	195,5	
Abr	19,168	30,5	1,598	0,443	0,083	0,000	0,000	0,937	0,013	0,00	170,0	
Mai	18,695	29,8	1,125	0,470	0,083	0,000	0,000	0,027	0,013	27,50	183,1	
Jun	18,171	29,0	0,601	0,444	0,078	0,000	0,000	0,000	0,013	7,00	176,0	
Jul	<sup>1</sup> 17,571	28,0	0,001	0,536	0,096	0,000	0,000	0,000	0,013	20,70	216,4	
<b>Méd.</b>	<b>20,057</b>	<b>32,0</b>	<b>-</b>	<b>0,687</b>	<b>0,107</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,118</b>	<b>0,013</b>	<b>28,95</b>	<b>254,7</b>	
<b>Total</b>	<b>240,681</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>8,248</b>	<b>1,286</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>1,420</b>	<b>0,156</b>	<b>347,40</b>	<b>3.056,6</b>	

<sup>1</sup> volume inicial (40% do volume máximo)

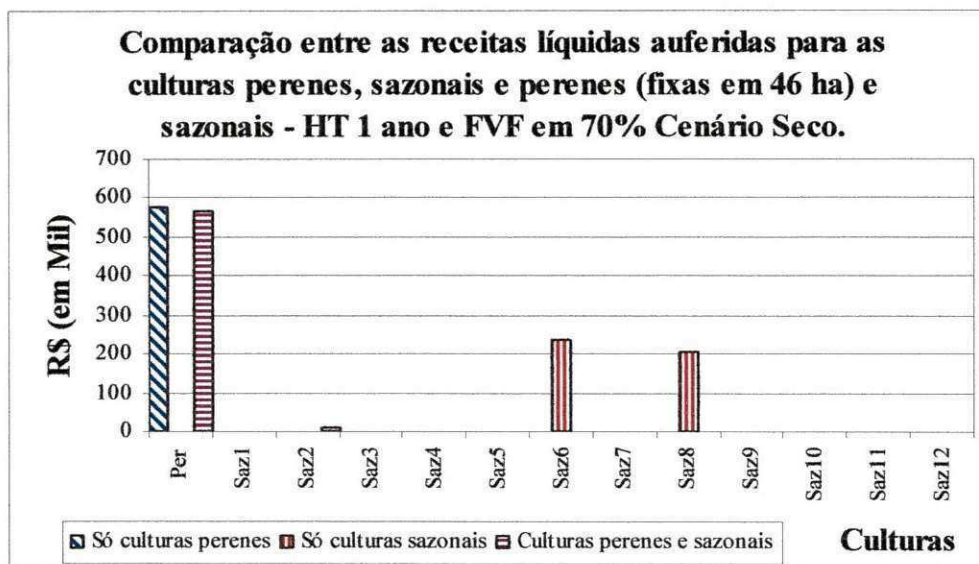
<sup>2</sup> volume ao final das otimizações deverá ser maior ou igual a 70% do volume inicial.

**Figura 7.8:** Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário seco para culturas perenes (fixa em 46 ha) e sazonais com FVF em 70% e HT de 1 ano.

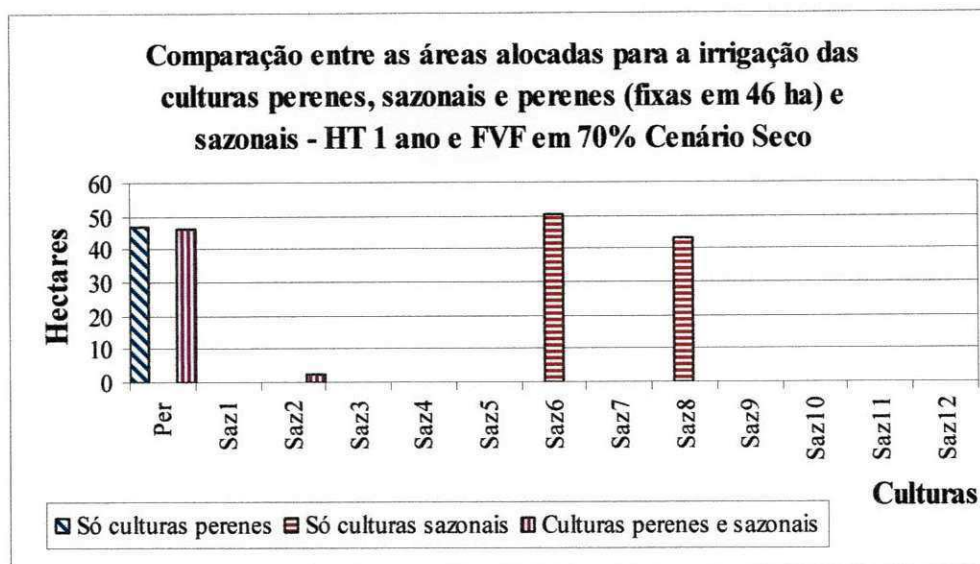
**Tabela 7.16:** Resultados referentes à RL auferida, área alocada na irrigação, mão de obra (em diárias) e período cultural da otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área das perenes (fixas em 46ha) - cenário seco com HT de 1 ano e FVF em 70%.

Culturas	Culturas Perenes (fixa 46ha) e sazonais FVF em 70%				Período de cultivo
	Receita Líquida (R\$)	Áreas Irrigadas		Mão de obra (diárias)	
		Hectares	Alqueires*		
Perenes	567.730,00	46,00	9,504	6.756	Ano todo
Sazonal 1	0,00	0,000	0,000	0	Jan-Abr
Sazonal 2	11.050,00	2,350	0,486	345	Fev-Mai
Sazonal 3	280,00	0,060	0,012	9	Mar-Jun
Sazonal 4	0,00	0,000	0,000	0	Abr-Jul
Sazonal 5	0,00	0,000	0,000	0	Mai-Ago
Sazonal 6	0,00	0,000	0,000	0	Jun-Set
Sazonal 7	0,00	0,000	0,000	0	Jul-Out
Sazonal 8	0,00	0,000	0,000	0	Ago-Nov
Sazonal 9	0,00	0,000	0,000	0	Set-Dez
Sazonal 10	0,00	0,000	0,000	0	Out-Jan
Sazonal 11	0,00	0,000	0,000	0	Nov-Fev
Sazonal 12	0,00	0,000	0,000	0	Dez-Mar
<b>TOTAL</b>	<b>579.060,00</b>	<b>48,41</b>	<b>10,002</b>	<b>7.110</b>	<b>-</b>

\* 1 alq (goiano) = 4,84 hectares



**Figura 7.9:** Comparação entre as RL para culturas perenes, sazonais e perenes (áreas fixas em 46 ha) e sazonais com FVF de 70% (cenário seco-HT 1 ano).



**Figura 7.10:** Comparação entre as áreas irrigadas para culturas perenes, sazonais e perenes (áreas fixas em 46 ha) e sazonais com FVF de 70% (cenário seco-HT 1 ano).

Verificou-se que o modelo respeitou a condição FVF em 70% do volume inicial, comprovando uma boa utilização da água disponível para atender as demandas sem atingir o limite mínimo de 10% do volume máximo. Observa-se que o volume do reservatório diminuiu com o passar dos meses, exceto o volume do mês de abril, reflexo das vazões afluentes dos meses anteriores.

Devido às condições severas quanto ao clima, o modelo alocou área para irrigação somente para as culturas sazonais 2 e 3, com áreas de 2,35 e 0,06 ha, respectivamente.

A receita líquida total com agricultura irrigada para as culturas perenes (fixa)/sazonais foi de R\$ 579.060,00, proporcionando um total 7.110 diárias.

Para a piscicultura extensiva, o modelo alocou receita líquida de R\$ 74.270,99 produzindo quase 50 toneladas de pescado e dando renda para 33 pescadores.

### 7.1.3. CENÁRIO MÉDIO UTILIZANDO ÁREA DAS CULTURAS PERENES DO CENÁRIO SECO (46 HA).

O modelo alocou área de 895 ha para as culturas perenes no cenário médio e 46 ha para o cenário seco. Contudo, o tempo de implantação das culturas perenes serem de 2 até 5 anos, quando geram apenas custos e, as freqüentes instabilidades hidroclimáticas na região semi-árida, podem dizimar culturas perenes no caso de falta de água em épocas de seca.

Em vista dos fatos acima, optou-se por estabelecer que a máxima área a ser alocada para as culturas perenes seria aquela que pudesse ser irrigada em períodos de seca. Fez-se, portanto, necessário fazer novas otimizações. Nesse caso, as novas otimizações foram realizadas para o cenário médio utilizando área fixa de 46 ha para as culturas perenes. As Tabelas 7.17 e 7.18 apresentam os resultados referentes à otimização das áreas das culturas perenes/sazonais e piscicultura extensiva o cenário seco, enquanto que a Tabela 7.19 exhibe os resultados sobre a receita líquida auferida, área alocada para irrigação, diárias e período cultural. Todos os resultados são melhor observados nas Figuras 7.11, 7.12 e 7.13.

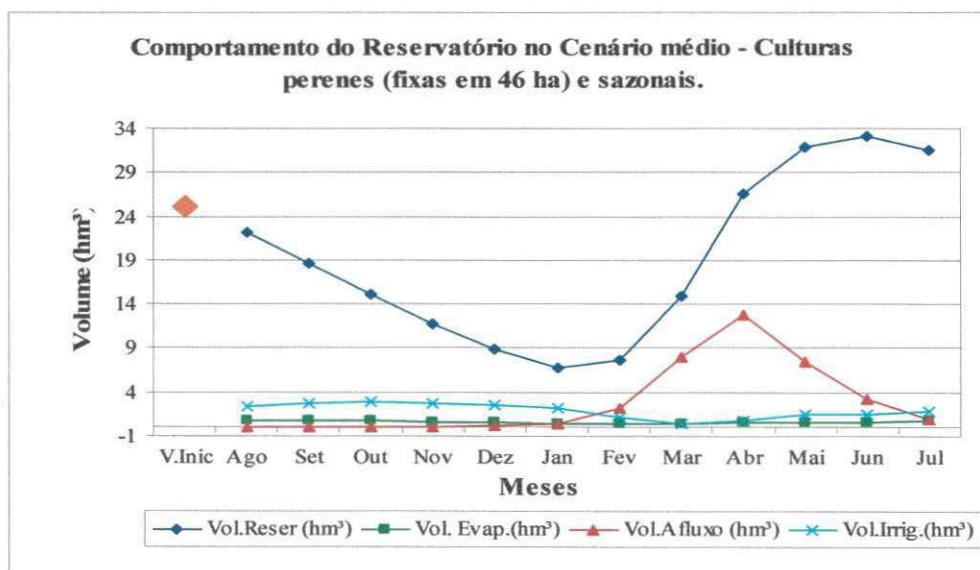
**Tabela 7.17:** Resultados da otimização das áreas das culturas sazonais na qual se fixou área para as culturas perenes em 46 ha no cenário médio.

Meses	Culturas Perenes (fixas em 46 ha) – Cenário Médio									Dados Hidrológicos	
	Vol. Reserv. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reserv. (%)	Diferença entre Vol. do Reserv. e Vol. Ini. (hm <sup>3</sup> )	Vol. Evap. (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Irrig (hm <sup>3</sup> /mes)	Vaz. Afluente (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De descarga do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Abast. (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. De Vertimento do Reser. (hm <sup>3</sup> /mês)	Prec. (mm)	Evap (mm)
<b>Vol. Máx.</b>	<b>62,751</b>										
<b>Vol. Inicial</b>	<b><sup>1</sup>25,100</b>										
Ago	22,085	35,2	-3,015	0,778	2,293	0,000	0,000	0,054	0,013	1,9	274,8
Set	18,644	29,7	-6,456	0,808	2,628	0,000	0,000	0,000	0,013	2,6	315,1
Out	15,007	23,9	-10,093	0,778	2,847	0,000	0,000	0,000	0,013	5,7	344,7
Nov	11,750	18,7	-13,350	0,653	2,705	0,000	0,000	0,080	0,013	22,5	333,9
Dez	8,925	14,2	-16,175	0,554	2,526	0,000	0,000	0,187	0,013	52,1	332,5
Jan	6,812	10,9	-18,288	0,428	2,111	0,080	0,000	0,402	0,013	80,6	300,7
Fev	7,685	12,2	-17,415	0,327	1,095	0,000	0,000	2,143	0,013	123,9	213,9
Mar	14,961	23,8	-10,139	0,441	0,396	0,000	0,000	7,928	0,013	197,3	195,5
Abr	26,577	42,4	1,477	0,537	0,734	0,000	0,000	12,856	0,013	124,2	170,0
Mai	31,938	50,9	6,838	0,646	1,414	0,000	0,000	7,446	0,013	37,0	183,1
Jun	33,151	52,8	8,051	0,635	1,454	0,000	0,000	3,294	0,013	19,1	176,0
Jul	31,612	50,4	6,512	0,759	1,800	0,000	0,000	0,991	0,013	10,5	216,4
<b>Méd.</b>	<b>19,096</b>	<b>30,4</b>	<b>-</b>	<b>0,612</b>	<b>1,834</b>	<b>0,007</b>	<b>0,000</b>	<b>2,948</b>	<b>0,013</b>	<b>56,45</b>	<b>254,7</b>
<b>Total</b>	<b>229,147</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>7,344</b>	<b>22,003</b>	<b>0,080</b>	<b>0,000</b>	<b>35,382</b>	<b>0,156</b>	<b>677,4</b>	<b>3.056,6</b>

<sup>1</sup> volume inicial (40% do volume máximo)

**Tabela 7.18:** Resultado referente à piscicultura extensiva otimizada em conjunto com as culturas perenes (fixas em 46 ha) e sazonais no cenário médio.

VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS PISC. EXT. + CULT. PER (46 ha)/SAZ.
Área mínima (km <sup>2</sup> )	1,423
Produção de pescado (ton)	28,46
Mão de obra (pescadores)	19
Receita líquida (R\$)	42.696,73

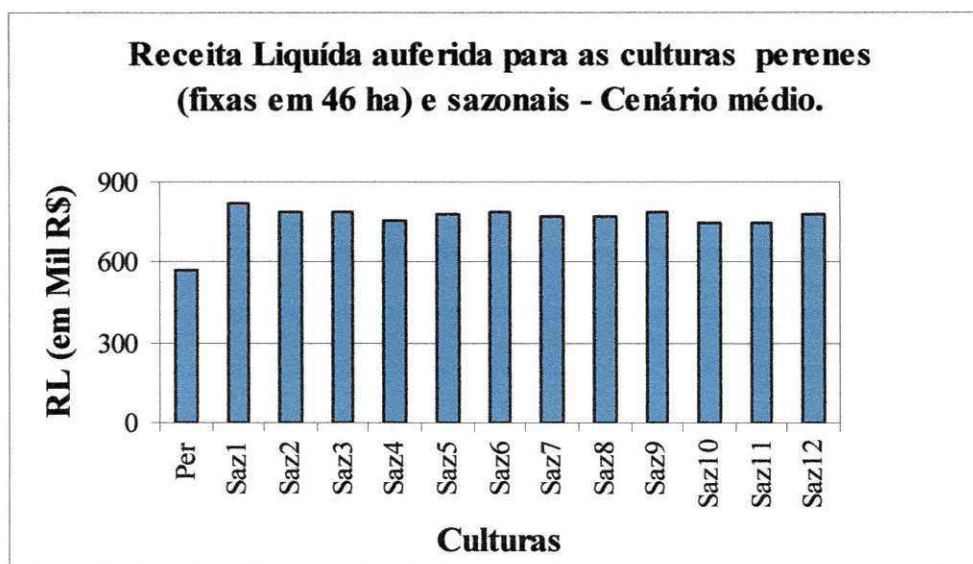


**Figura 7.11:** Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário médio para culturas perenes (fixa em 46 ha) e sazonais.

**Tabela 7.19:** Resultados referentes à RL auferida, área alocada na irrigação, mão de obra (em diárias) e período cultural da otimização das áreas das culturas sazonais em que se fixou a área das culturas perenes (fixas em 46ha) - cenário médio.

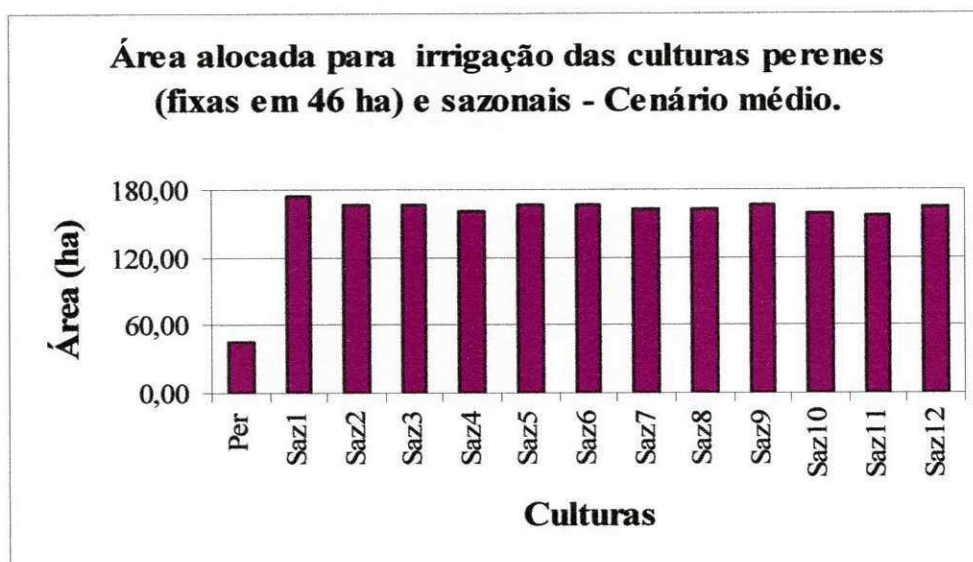
Culturas Perenes (fixa 46 ha) e sazonais – Cenário Médio					
Culturas	Receita Líquida (R\$)	Áreas Irrigadas		Mão de obra (diárias)	Período de cultivo
		Hectares	Alqueires*		
Perenes	567.730,00	46,00	9,50	6.756	Ano todo
Sazonal 1	817.290,00	173,66	35,88	25.550	Jan-Abr
Sazonal 2	786.510,00	167,12	34,53	24.588	Fev-Mai
Sazonal 3	786.590,00	167,14	34,53	24.590	Mar-Jun
Sazonal 4	759.130,00	161,31	33,33	23.732	Abr-Jul
Sazonal 5	782.530,00	166,28	34,36	24.464	Mai-Ago
Sazonal 6	788.130,00	167,47	34,60	24.639	Jun-Set
Sazonal 7	770.070,00	163,63	33,81	24.074	Jul-Out
Sazonal 8	769.220,00	163,45	33,77	24.047	Ago-Nov
Sazonal 9	787.180,00	167,27	34,56	24.609	Set-Dez
Sazonal 10	746.830,00	158,69	32,79	23.348	Out-Jan
Sazonal 11	743.710,00	158,03	32,65	23.250	Nov-Fev
Sazonal 12	776.480,00	164,99	34,09	24.275	Dez-Mar
<b>TOTAL</b>	<b>9.881.400,00</b>	<b>2025,04</b>	<b>418,40</b>	<b>297.923</b>	-

\* 1 alq (goiano) = 4,84 hectares



**Figura 7.12:** Receita líquida auferida para culturas perenes (áreas fixas em 46 ha) e sazonais - Cenário Médio.





**Figura 7.13:** Áreas alocadas para a irrigação das culturas perenes (áreas fixas em 46 ha) e sazonais com Cenário Médio.

Neste cenário médio em que se fixa a área máxima para as culturas perenes otimizadas no cenário seco e otimiza-se as áreas para as culturas sazonais, sendo o volume inicial do reservatório de 40% do seu volume máximo, pode-se observar que o modelo respeita a condição de sustentabilidade hídrica do reservatório, pois, o volume ao final das otimizações no mês de julho foi maior que o volume inicial.

Ao final da otimização das áreas das culturas sazonais, mantendo a área das culturas perenes fixa em 46 ha, verifica-se que no mês de janeiro o reservatório atinge o volume bem próximo do mínimo e por isto não pode irrigar mais neste mês, justificando o porquê do volume final ter sido maior que o volume inicial no final do processo. Verifica-se, também, que, a partir do mês de julho até o mês de janeiro, o volume do reservatório diminui e se recupera a partir do mês de fevereiro até junho, onde são observadas as maiores afluições.

Observa-se ainda, que as menores demandas para a irrigação situam entre os meses de março e abril coincidindo com os meses de maiores precipitações e conseqüentemente, maiores vazões afluentes.

Quanto às áreas alocadas, pode-se verificar que o modelo aloca em média 165 ha para cada sazonal, dando, em média, receita líquida de R\$ 777.000,00 para cada sazonal. A receita líquida total auferida para a agricultura irrigada é de R\$ 9.881.400,00 gerando 297.923 diárias.

Com relação às atividades da piscicultura extensiva, a receita líquida auferida foi de R\$ 42.696,73, sem comprometer água para irrigação e abastecimento, empregando 19 pescadores produzindo quase 29 toneladas de pescado em uma área mínima de 1,423 km<sup>2</sup>.

Observe que a área total irrigada passou de 2.002 ha - na otimização das culturas sazonais/perenes (fixas em 895 ha) (Tabela 7.8) - para 2.025 ha - na otimização das culturas sazonais/perenes (fixas em 46 ha) - tendo um aumento de 1,15% da área irrigada. Quanto à receita líquida que era aproximadamente de R\$ 16.260.000,00 passou para R\$ 9.880.000,00, uma redução de quase 40% na receita líquida.

Será que vale a pena reduzir tanto a receita líquida a fim de proteger as culturas perenes contra a seca? A resposta para esta questão se encontra na determinação dos indicadores de desempenho do reservatório.

#### 7.1.4. CENÁRIOS PISCÍCULAS

Para se observar outras alternativas de utilização das águas do reservatório, fez-se novas otimizações considerando os cenários piscícolas. Esses cenários piscícolas podem ser uma fonte de renda, além da irrigação, para populações que moram próximas de reservatórios de médio porte.

Os cenários piscícolas considerados foram:

- Somente piscicultura extensiva, não contemplando irrigação;
- Piscicultura intensiva + extensiva, não contemplando irrigação;
- Carcinicultura + piscicultura extensiva, não contemplando a irrigação;
- Piscicultura intensiva + extensiva + carcinicultura, não contemplando a irrigação;
- Piscicultura intensiva + extensiva + carcinicultura + irrigação (correspondente ao Cenário Médio).

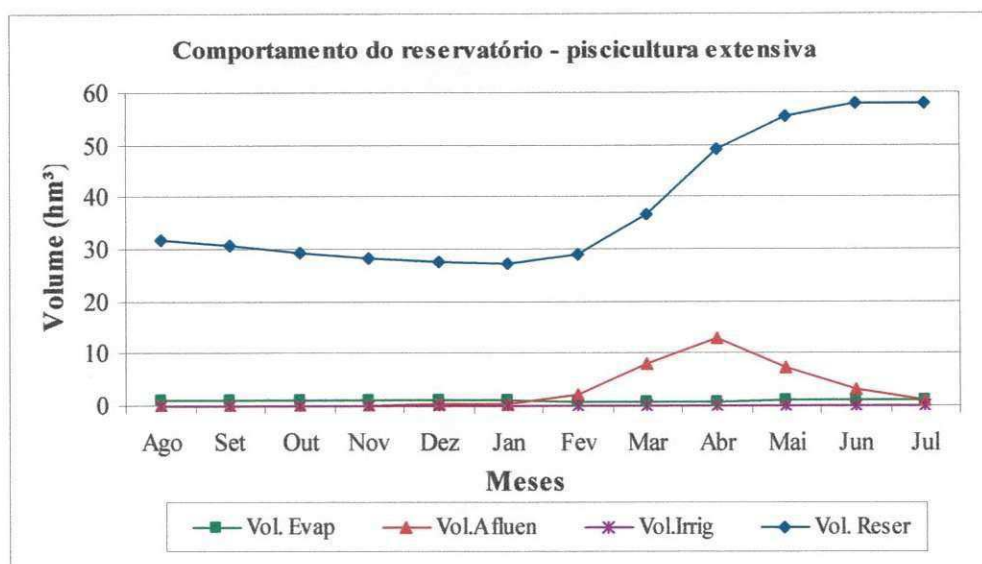
**Somente piscicultura extensiva, não contemplando a irrigação**

Esse cenário piscícola é muito interessante, pois os resultados deste cenário, por não contemplar a irrigação, mostram como se comportou o reservatório perante as perdas evaporativas.

A Tabela 7.20 exibe os resultados referentes ao cenário que considera somente a piscicultura extensiva não contemplando a irrigação.

**Tabela 7.20:** Resultados da otimização para a piscicultura extensiva não contemplando a irrigação.

Meses	Vol. Reservatório (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reservatório (%)	Vol. Evaporado (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Afluente (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Irrigação (hm <sup>3</sup> /mês)	Precipitações (mm)	Evaporações (mm)
<i>Vol. Máx.</i>	<b>62,751</b>						
<i>Vol. Inicial</i>	<b>32,630</b>						
Ago	31,694	50,5	0,965	0,054	0,000	1,9	274,8
Set	30,584	48,7	1,083	0,000	0,000	2,6	315,1
Out	29,405	46,9	1,157	0,000	0,000	5,7	344,7
Nov	28,424	45,3	1,098	0,080	0,000	22,5	333,9
Dez	27,669	44,1	1,076	0,187	0,000	52,1	332,5
Jan	27,331	43,6	0,966	0,402	0,000	80,6	300,7
Fev	29,102	46,4	0,714	2,143	0,000	123,9	213,9
Mar	36,767	58,6	0,751	7,928	0,000	197,3	195,5
Abr	49,019	78,1	0,778	12,856	0,000	124,2	170,0
Mai	55,542	88,5	0,905	7,446	0,000	37,0	183,1
Jun	57,941	92,3	0,893	3,294	0,000	19,1	176,0
Jul	57,842	92,2	1,097	0,991	0,000	10,5	216,4
<b>Méd.</b>	<b>38,443</b>	<b>61,3</b>	<b>0,957</b>	<b>2,948</b>	<b>0,000</b>	<b>56,45</b>	<b>254,7</b>
<b>Total</b>	<b>461,320</b>	<b>-</b>	<b>11,483</b>	<b>35,382</b>	<b>0,000</b>	<b>677,4</b>	<b>3.056,6</b>



**Figura 7.14:** Comportamento do reservatório nas otimizações da piscicultura extensiva não contemplando irrigação.

**Tabela 7.21:** Receita líquida auferida, mão de obra, produção e área mínima alocada para a piscicultura extensiva.

VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS PISCICULTURA EXTENSIVA.
Área mínima (km <sup>2</sup> )	3,214
Produção de pescado (ton)	64,28
Mão de obra (pescadores)	43
Receita líquida (R\$)	96.412,65

Observando os resultados do comportamento do reservatório, a depleção ocorre entre os meses de julho a janeiro, período em que ocorrem as maiores perdas evaporativas do reservatório. É constatado, ainda, que nesse intervalo são registradas as menores precipitações. Observe, também, que neste cenário as perdas evaporativas foram bem maiores do que para os cenários que contemplam a agricultura irrigada.

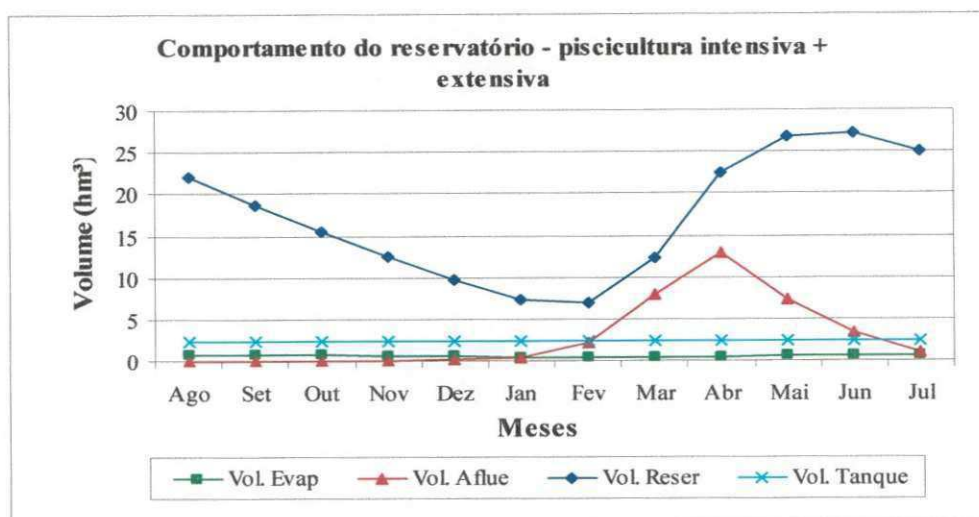
A receita líquida auferida para a piscicultura extensiva não contemplando a irrigação, foi de R\$ 96.412,65 gerando mão de obra para 43 pescadores que irão produzir aproximadamente 64 toneladas de pescado em área de espelho d'água mínima de 3,214 km<sup>2</sup>.

**Piscicultura intensiva + extensiva, não contemplando a irrigação**

Este cenário mostra outra alternativa de renda, além da agricultura, para a população local, utilizando a água do reservatório na criação de peixes na forma intensiva e extensiva. A Tabela 7.22 exibe os resultados da otimização para este cenário. Já a Tabela 7.23 expõe os resultados sobre RL auferida, mão de obra, produção e área mínima alocada para as pisciculturas intensiva + extensiva. A Figura 7.15 mostra o comportamento do reservatório.

**Tabela 7.22:** Resultados da otimização para a piscicultura intensiva + extensiva não contemplando a irrigação.

Meses	Vol. Reservatório (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reservatório (%)	Vol. Evaporado (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Afluente (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Irrigação (hm <sup>3</sup> /mês)	Precipitações (mm)	Evaporações (mm)
<b>Vol. Máx.</b>	<b>62,751</b>						
<b>Vol. Inicial</b>	<b>25,100</b>						
Ago	21,970	35,0	0,776	0,054	2,413	1,9	274,8
Set	18,740	29,9	0,810	0,000	2,413	2,6	315,1
Out	15,520	24,7	0,794	0,000	2,413	5,7	344,7
Nov	12,533	20,0	0,678	0,080	2,413	22,5	333,9
Dez	9,796	15,6	0,585	0,187	2,413	52,1	332,5
Jan	7,449	11,9	0,451	0,402	2,413	80,6	300,7
Fev	7,040	11,2	0,310	2,143	2,413	123,9	213,9
Mar	12,366	19,7	0,394	7,928	2,413	197,3	195,5
Abr	22,367	35,6	0,485	12,856	2,413	124,2	170,0
Mai	26,808	42,7	0,582	7,446	2,413	37,0	183,1
Jun	27,149	43,3	0,563	3,294	2,413	19,1	176,0
Jul	25,100	40,0	0,661	0,991	2,413	10,5	216,4
<b>Méd.</b>	<b>17,237</b>	<b>27,5</b>	<b>0,591</b>	<b>2,948</b>	<b>2,413</b>	<b>56,45</b>	<b>254,7</b>
<b>Total</b>	<b>206,838</b>	<b>-</b>	<b>7,089</b>	<b>35,382</b>	<b>28,956</b>	<b>677,4</b>	<b>3.056,6</b>



**Figura 7.15:** Comportamento do reservatório nas otimizações das pisciculturas intensiva + extensiva não contemplando irrigação.

**Tabela 7.23:** Receita líquida auferida, mão de obra, produção e área mínima alocada para as pisciculturas intensiva + extensiva.

VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS PISCICULTURA INTENSIVA	RESULTADOS PISCICULTURA EXTENSIVA.
Área mínima	778,21 (ha)	1,45 (km <sup>2</sup> )
Produção de pescado (ton)	11.673	29,02
Mão de obra	7,782 (diárias)	19 (pescadores)
Receita líquida (R\$)	1.936.950,00	43.524,89

Nesse tipo de criação intensiva, observe que é captado junto ao reservatório é 2,413 hm<sup>3</sup>/mês de água. Dessa forma a depleção do reservatório se encontra entre os meses de julho a fevereiro se recuperando entre março a junho, meses que obtiveram maiores vazões afluentes. Nota-se que neste cenário, as perdas evaporativas foram menores do que para os cenários que contemplam somente a piscicultura extensiva, isto porque, neste cenário as águas do reservatório estão sendo utilizadas na captação para a criação intensiva, o que não ocorre no cenário anterior.

A receita líquida auferida para a piscicultura intensiva foi de R\$ 1.936.950,00, e para a piscicultura extensiva foi de R\$ 43.524,89. O modelo alocou área de 778,21 hectares que irá produzir 11.673 toneladas gerando 7.782 diárias, enquanto que na piscicultura extensiva a área mínima de espelho d'água é de 1,45 km<sup>2</sup> gerando emprego à 19 pescadores que irão produzir

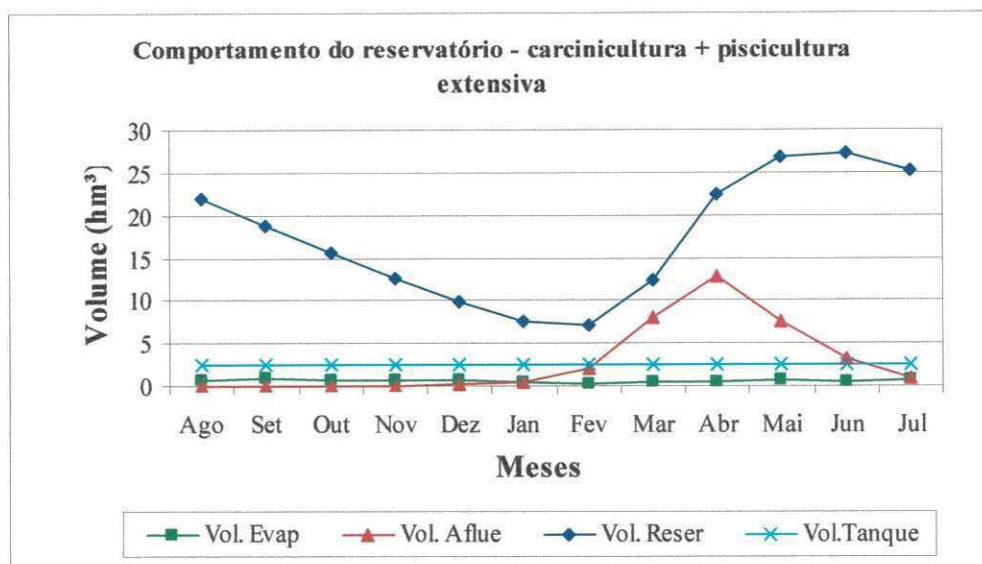
aproximadamente 30 toneladas de pescado. A receita líquida total neste cenário foi de R\$ 1.980.474,89.

### ***Carcinicultura + piscicultura extensiva não contemplando a irrigação***

Outra alternativa de múltiplos usos de água para gerar renda, além da agricultura, este cenário considera a piscicultura extensiva e a criação de camarão de água doce, uma iguaria muito apreciada pelos brasileiros e estrangeiros. A Figura 7.16 exibe o comportamento do reservatório durante a otimização da carcinicultura + Piscicultura extensiva. Já as Tabelas 7.24 e 7.25 exibem os resultados da otimização para este cenário.

**Tabela 7.24:** Resultados da otimização para a carcinicultura + piscicultura extensiva não contemplando a irrigação.

Meses	Vol. Reservatório (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reservatório (%)	Vol. Evaporado (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Afluente (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Tanque (hm <sup>3</sup> /mês)	Precipitações. (mm)	Evaporações (mm)
<i>Vol. Máx.</i>	<i>62,751</i>						
<i>Vol. Inicial</i>	<i>25,100</i>						
Ago	21,970	35,0	0,776	0,054	2,413	1,9	274,8
Set	18,740	29,9	0,81	0,000	2,413	2,6	315,1
Out	15,520	24,7	0,794	0,000	2,413	5,7	344,7
Nov	12,533	20,0	0,678	0,080	2,413	22,5	333,9
Dez	9,796	15,6	0,585	0,187	2,413	52,1	332,5
Jan	7,449	11,9	0,451	0,402	2,413	80,6	300,7
Fev	7,040	11,2	0,31	2,143	2,413	123,9	213,9
Mar	12,366	19,7	0,394	7,928	2,413	197,3	195,5
Abr	22,367	35,6	0,485	12,856	2,413	124,2	170,0
Mai	26,808	42,7	0,582	7,446	2,413	37,0	183,1
Jun	27,149	43,3	0,563	3,294	2,413	19,1	176,0
Jul	25,100	40,0	0,661	0,991	2,413	10,5	216,4
Méd.	17,237	27,5	0,591	2,948	2,413	56,45	254,7
Total	206,838	-	7,089	35,382	28,959	677,4	3.056,6



**Figura 7.16:** Comportamento do reservatório nas otimizações da carcinicultura + piscicultura extensiva não contemplando a irrigação.

**Tabela 7.25:** Receita líquida auferida, mão de obra, produção e área mínima alocada para a carcinicultura + piscicultura extensiva.

VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS CARCINICULTURA	RESULTADOS PISCICULTURA EXTENSIVA.
Área mínima	180,14 (ha)	1,45 (km <sup>2</sup> )
Produção de pescado (ton)	826,98	29,020
Mão de obra	1801 (diárias)	19 (pescadores)
Receita líquida (R\$)	5.132.030,00	43.524,88

Para a carcinicultura, o desempenho do reservatório foi praticamente o mesmo da piscicultura intensiva, isto porque, são duas criações semelhantes que necessitam de água de boa qualidade para ter produtividade e são intensivas. Como na piscicultura intensiva, as perdas evaporativas do reservatório foram menores que as perdas do cenário que contemplam somente a piscicultura extensiva.

A receita líquida auferida para a carcinicultura foi de quase R\$ 5.000.000,00 enquanto que a piscicultura extensiva teve receita de R\$ 43.524,88. Em área de 180,14 hectares que o modelo alocou para a carcinicultura, pode-se produzir 827 toneladas de camarão de água doce que gerará 1.801 diárias. Na piscicultura extensiva o modelo consegue alocar área mínima de espelho d'água de 1,45 km<sup>2</sup> empregando 19 pescadores que irão produzir 29 toneladas de pescado. A receita líquida auferida para esse cenário foi de R\$ 5.175.554,88.



***Piscicultura intensiva + extensiva + carcinicultura não contemplando a irrigação***

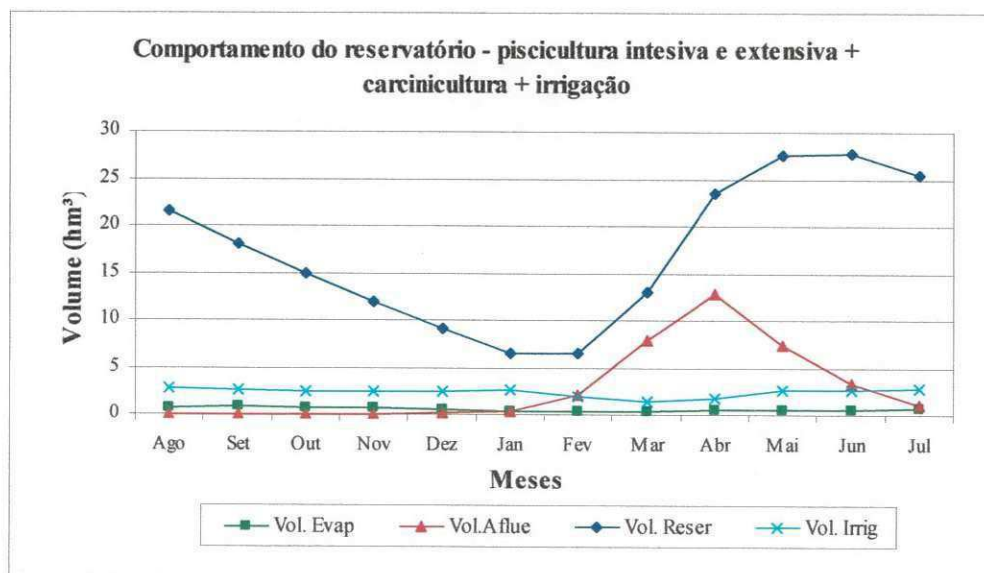
Uma outra opção de usos múltiplos d'água para gerar renda é a criação da piscicultura intensiva + carcinicultura + piscicultura extensiva. Nos resultados referentes a esse cenário, o modelo pretere a piscicultura intensiva e aloca o máximo de receita líquida (RL) para a carcinicultura (+ piscicultura extensiva), por ser a carcinicultura a mais rentável. Dessa forma, a produtividade e RL auferidas foram iguais ao do cenário que contemplam a carcinicultura + piscicultura extensiva, mostradas nas Tabelas 7.24 e 7.25.

***Piscicultura intensiva + extensiva + carcinicultura + irrigação (correspondente ao cenário médio, com área das culturas perenes fixas em 46 ha)***

Para esse cenário além de considerar a irrigação serão considerados a aquíicultura que corresponde à piscicultura intensiva e extensiva e carcinicultura. Para a agricultura foram fixadas as áreas das culturas perenes em 46 hectares (área correspondente à área máxima para as culturas perenes encontrada na otimização do cenário seco). As Tabelas 7.26 e 7.27 apresentam os resultados da otimização para este cenário. E a Figura 7.17 mostra o comportamento do reservatório para a otimização de piscicultura intensiva + extensiva + carcinicultura + irrigação (correspondente ao cenário médio, com área das culturas perenes fixas em 46 ha)

**Tabela 7.26:** Resultados da otimização para a piscicultura intensiva + carcinicultura + piscicultura extensiva + irrigação.

Meses	Vol. Reservatório (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reservatório (%)	Vol. Evaporado (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Afluyente (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Irrigação (hm <sup>3</sup> /mês)	Precipitações (mm)	Evaporações (mm)
<b>Vol. Máx.</b>	<b>62,751</b>						
<b>Vol. Inicial</b>	<b>25,100</b>						
Ago	21,616	34,4	0,769	0,054	2,778	1,9	274,8
Set	18,157	28,9	0,795	0,000	2,657	2,6	315,1
Out	14,874	23,7	0,774	0,000	2,494	5,7	344,7
Nov	11,903	19,0	0,658	0,080	2,413	22,5	333,9
Dez	9,076	14,5	0,560	0,187	2,523	52,1	332,5
Jan	6,562	10,5	0,419	0,402	2,601	80,6	300,7
Fev	6,561	10,5	0,298	2,143	2,001	123,9	213,9
Mar	12,907	20,6	0,404	7,928	1,358	197,3	195,5
Abr	23,462	37,4	0,499	12,856	1,837	124,2	170,0
Mai	27,627	44,0	0,592	7,446	2,684	37,0	183,1
Jun	27,740	44,2	0,571	3,294	2,638	19,1	176,0
Jul	25,363	40,4	0,665	0,991	2,743	10,5	216,4
<b>Méd.</b>	<b>17,154</b>	<b>27,3</b>	<b>0,584</b>	<b>2,948</b>	<b>2,394</b>	<b>56,45</b>	<b>254,7</b>
<b>Total</b>	<b>205,848</b>	<b>-</b>	<b>7,004</b>	<b>35,382</b>	<b>28,726</b>	<b>677,4</b>	<b>3.056,6</b>



**Figura 7.17:** Comportamento do reservatório nas otimizações da piscicultura intensiva + carcinicultura + piscicultura extensiva + irrigação.

**Tabela 7.27:** Receita líquida auferida, mão de obra, produção e área mínima alocada para a piscicultura intensiva + carcinicultura + piscicultura extensiva + irrigação

VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS CARCINICULTURA	RESULTADOS PISCICULTURA EXTENSIVA.	RESULTADOS IRRIGAÇÃO	RESULTADOS PISCICULTURA INTENSIVA
Área mínima	78,63 (ha)	1,392 (km <sup>2</sup> )	1.689,65 (ha)	Modelo preteriu
Produção (tonelada)	550,41	27,84	-	Modelo preteriu
Mão de obra	786 (diárias)	19 (pescadores)	248.576 (diárias)	Modelo preteriu
Receita líquida (R\$)	1.649.540,00	41.764,99	8.302.930,00	Modelo preteriu

Ao final das otimizações do cenário que considera a carcinicultura + piscicultura extensiva e intensiva + irrigação (área para as culturas perenes fixas em 46 ha e otimizou para as sazonais), constata-se que nos meses de janeiro e fevereiro o reservatório atinge o volume mínimo, devido a isso não se pode irrigar mais. Verifica-se ainda que, a partir do mês de julho até o mês de fevereiro, o volume do reservatório diminui se recuperando nos meses subsequentes (março – junho), onde são observadas as maiores afluências.

Quanto às receitas líquidas alocadas nesse cenário, observe na Tabela 7.27 que a maior receita foi auferida para a irrigação com total de R\$ 8.302.930,00, seguida pela carcinicultura com RL de R\$ 1.649.540,00 e, por fim, piscicultura extensiva com RL de R\$ 41.764,99. O modelo não alocou RL para a piscicultura intensiva, preterindo-a.

Quanto às áreas alocadas, o modelo aloca área de 78,63 ha para a carcinicultura produzindo aproximadamente 550 toneladas de camarões. Na piscicultura extensiva a área mínima de espelho d'água alocada é de 1,392 km<sup>2</sup> que irá produzir quase 28 toneladas de pescados. Na irrigação, o modelo alocou uma área total de 1.689,65 hectares gerando 248.576 diárias. Em suma, este cenário teve receita líquida total de quase R\$ 10.000.000,00.

#### 7.1.4. CONDIÇÃO INICIAL PARA OS CENÁRIOS MÉDIO E SECO

Com as otimizações para o cenário médio (CM) e o melhor resultado dos cenários secos (MCS) foram verificados os efeitos que a condição inicial do sistema tem nos resultados das otimizações, em face das diferentes condições iniciais de volume armazenado, em cada mês do ano, e do atrelamento da sustentabilidade hídrica para o cenário médio e a melhor FVF obtida para o cenário seco.

Como não se tem registros do volume inicial de cada mês, foi necessário realizar um cenário em que contemplou-se somente piscicultura extensiva, uma vez que neste caso as perdas computadas nesse cenário são unicamente as perdas evaporativas no reservatório, e aí teríamos uma estimativa de qual seria o volume do reservatório em cada mês do ano, para que pudéssemos usá-los como volume inicial e verificarmos a influência desta variável.

As considerações para essa otimização, são:

- O volume inicial, na primeira rodada, com início em agosto, será uma percentagem do volume médio anual de água que aflui ao reservatório, tomando como base o volume máximo do reservatório;
- A percentagem foi de 54%. Contudo, descontando-se as perdas evaporativas em 2%, o volume inicial para esta otimização foi de 52%.

Isso significa dizer que, nessa otimização, onde se procura encontrar os volumes iniciais para cada mês, o volume inicial foi de 32,63 hm<sup>3</sup> que equivale a 52% do volume máximo. A Tabela 7.29 mostra os resultados obtidos de valores dos volumes iniciais mensais para os dois cenários.

**Tabela 7.28:** Volumes mensais para verificar os efeitos das condições iniciais de cada mês.

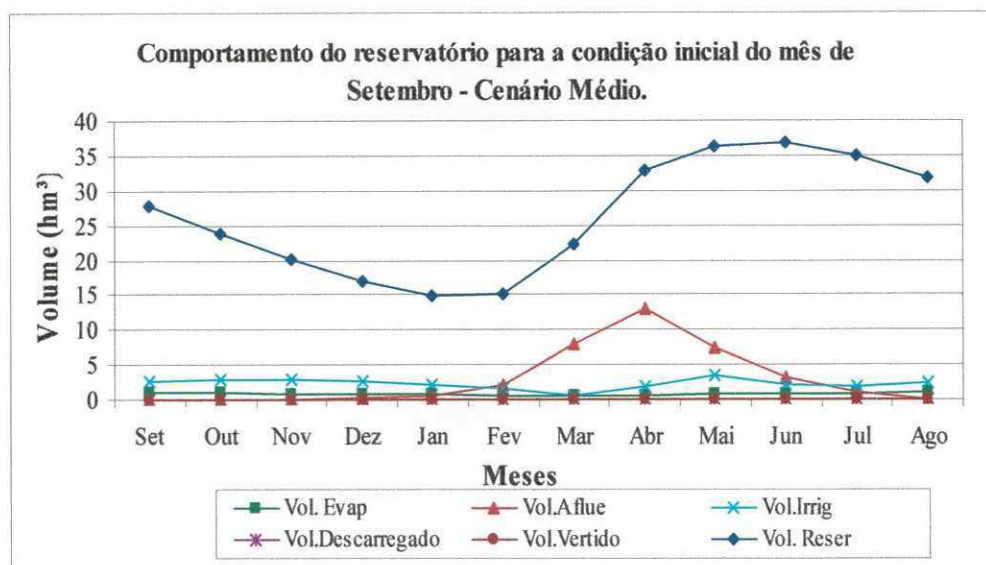
Meses	Volumes iniciais e RL				
	C. médio			C. seco – FVF em 70%	
	hm <sup>3</sup>	RL-MCM (R\$ em Mil)	RL-CM Perenes fixa em 46 hs (R\$ em Mil)	hm <sup>3</sup>	RL-MCSM (R\$ em Mil)
<b>Ago</b>	57,842	12.476,02	9.277,86	24,879	567,73
<b>Set</b>	<b>31,694</b>	<b>15.408,40</b>	<b>15.802,43</b>	31,635	570,20
<b>Out</b>	30,584	12.658,82	14.718,35	<b>30,516</b>	<b>904,20</b>
<b>Nov</b>	29,405	12.992,78	8.831,17	29,319	833,82
<b>Dez</b>	28,424	12.821,19	13.454,16	28,187	679,75
<b>Jan</b>	27,669	13.897,92	13.464,66	27,616	659,79
<b>Fev</b>	27,331	11.046,40	11.059,23	26,682	610,08
<b>Mar</b>	29,102	11.064,44	13.745,26	26,295	568,09
<b>Abr</b>	36,767	12.092,07	11.929,21	26,156	584,05
<b>Mai</b>	49,019	13.167,75	10.691,19	26,517	718,16
<b>Jun</b>	55,542	12.068,54	13.276,60	26,038	669,63
<b>Jul</b>	57,941	11.881,54	13.293,85	25,497	567,73

**Melhor cenário médio (MCM) – Área das perenes ficas em 895 ha**

A partir desses volumes iniciais que se encontrou para cada mês, apresentados na Tabela 7.29, fez-se novas otimizações, para cada mês com seus respectivos volumes. Para o cenário médio o modelo conseguiu otimizar para todos os meses. Após analisar todos os resultados, escolheu-se como melhor cenário médio (MCM), o cenário que considera volume inicial do mês de setembro (volume = 31,649 hm<sup>3</sup>), por ter apresentado maior receita líquida. As Tabelas 7.30, 7.31 e 7.32 mostram o comportamento do reservatório com o volume inicial do mês de setembro, a receita líquida (RL) auferida, área alocada para a irrigação e os resultados referentes à piscicultura extensiva para o MCM. A Figura 7.18 mostra graficamente o comportamento do reservatório ao final das otimizações.

**Tabela 7.29:** Resultados da otimização que se iniciou com volume igual a 31,694 hm<sup>3</sup> (mês de Setembro - MCM).

Meses	Condição Inicial – mês de setembro (MCM)							
	Vol. Reser (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reser (%)	Vol. Evap (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Alfue (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Irrig (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Descarga (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Vertimento (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Abaste (hm <sup>3</sup> /mês)
<b>Vol. Inicial</b>	<b>31,694</b>							
Set	27,916	44,5	1,025	0,000	2,753	0,000	0,000	0,013
Out	23,881	38,1	1,022	0,000	3,016	0,000	0,000	0,013
Nov	20,234	32,2	0,898	0,080	2,879	0,000	0,000	0,013
Dez	17,081	27,2	0,810	0,187	2,652	0,000	0,000	0,013
Jan	14,847	23,7	0,675	0,402	2,143	0,000	0,000	0,013
Fev	15,094	24,1	0,484	2,143	1,666	0,000	0,000	0,013
Mar	22,222	35,4	0,556	7,928	0,552	0,000	0,000	0,013
Abr	32,803	52,3	0,609	12,856	1,773	0,000	0,000	0,013
Mai	36,173	57,6	0,696	7,446	3,407	0,000	0,000	0,013
Jun	36,696	58,5	0,675	3,294	2,124	0,000	0,000	0,013
Jul	34,987	55,8	0,806	0,991	1,926	0,000	0,000	0,013
Ago	31,694	50,5	0,965	0,054	2,392	0,000	0,000	0,013
<b>Méd.</b>	<b>26,136</b>	<b>41,7</b>	<b>0,768</b>	<b>2,948</b>	<b>2,274</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,013</b>
<b>Total</b>	<b>313,628</b>	<b>-</b>	<b>9,221</b>	<b>35,382</b>	<b>27,282</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,013</b>



**Figura 7.18:** Comportamento do reservatório Poço Redondo no MCM em que o volume inicial foi o referente ao mês de Setembro.

**Tabela 7.30:** Refeitas líquidas (RL) auferidas e áreas alocadas para irrigação do MCM (setembro).

Culturas	Condição inicial – Mês de Setembro (MCM)		
	Receita Líquida (RS)	Área Irrig. (ha)	diárias
Per	11.046.100,00	895,00	131.453
Saz1	0,00	0,00	0
Saz2	2.972.050,00	631,52	92.913
Saz3	1.291.760,00	274,48	40.383
Saz4	80.150,00	17,03	2.506
Saz5	630,00	0,13	20
Saz6	0,00	0,00	0
Saz7	0,00	0,00	0
Saz8	0,00	0,00	0
Saz9	17.720,00	3,76	554
Saz10	0,00	0,00	0
Saz11	0,00	0,00	0
Saz12	0,00	0,00	0
<b>TOTAL</b>	<b>15.408.410,00</b>	<b>1821,92</b>	<b>267.829</b>

**Tabela 7.31:** Resultados referentes à piscicultura extensiva para o MCM.

VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS PISCICULTURA EXTENSIVA (MCM)
Área mínima (km <sup>2</sup> )	2,243
Produção de pescado (ton)	44,86
Mão de obra (pescadores)	30
Receita líquida (R\$)	67.293,70

Analisando esses resultados, pode-se afirmar que o modelo respeita a de condição sustentabilidade hídrica (SH) do reservatório, já que, o volume ao final da otimização é igual ao volume em que se iniciou a otimização. Observa-se que o período de depleção do reservatório ocorre entre os meses de julho a janeiro, não atingindo o volume mínimo (10% Vol.Máx), coincidindo com o período de menores vazões afluentes. O reservatório se recupera a partir do mês de fevereiro até junho. Não houve perdas de água com vertimentos e descargas. Além das irrigações o modelo atendeu as demandas para abastecimento urbano que foram de 0,013 hm<sup>3</sup>/mês.

Quanto às áreas irrigadas, como se fixou a área para as perenes em 895 ha e estas necessitam de água o ano inteiro, o modelo distribuiu áreas para irrigação somente para as sazonais 2, 3, 4, 5, e 9, sendo que as sazonais 2 e 3 receberam maiores glebas de áreas para irrigação: 631,52 ha e 274,48 ha, respectivamente. Tais culturas receberam maiores receitas líquidas, R\$ 2.972.050,00 para a sazonal 2 e R\$ 1.291.760,00 para a sazonal 3. A receita líquida total auferida para este cenário foi de R\$ 15.408.410,00 gerando 267.829 diárias para mão-de-obra. Para as culturas sazonais 6, 7, 8, 10, 11 e 12 o modelo não alocou área para a irrigação, isso para que o reservatório se recuperasse hidricamente para garantir a SH.

Para a piscicultura extensiva, o modelo alocou uma receita de R\$ 67.293,70 gerando emprego para 30 pescadores que produzirão quase 45 toneladas de pescado.

**Melhor cenário seco dos melhores (MCSM)**

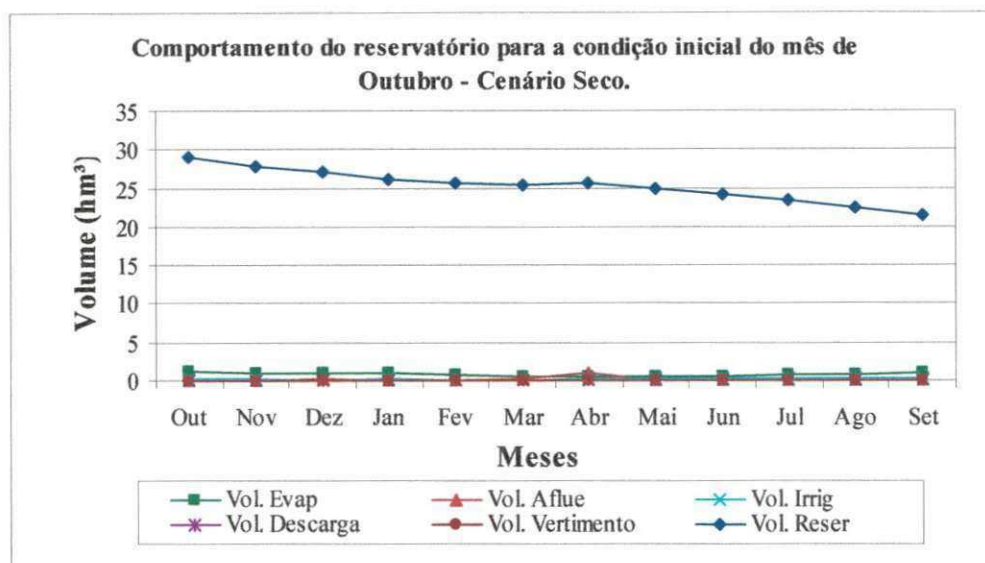
A partir dos volumes iniciais encontrados para cada mês como mostra a Tabela 7.29, fez-se otimizações, e a partir destas escolheu-se o melhor cenário seco dos melhores (MCSM). Nessas otimizações o modelo conseguiu otimizar para todos os meses, e o mês que apresentou melhor receita líquida auferida foi o mês de outubro (volume inicial = 30,516 hm<sup>3</sup>), sendo considerado o MCSM. As Tabelas 7.33, 7.34 e 7.35 apresentam os valores de como se comportou o reservatório para essa condição inicial, as receitas e áreas alocadas nesse cenário e os resultados para a piscicultura extensiva. A Figura 7.19 mostra graficamente o comportamento do reservatório para a otimização do MCSM. Lembrando que para esse cenário a flexibilização do volume final foi de 70%, isto é, o volume ao final da otimização deve ser maior ou igual a 70% do volume inicial.

**Tabela 7.32:** Resultados da otimização que se iniciou com volume igual a 30,516 hm<sup>3</sup> (mês de Outubro – MCSM – FVF em 70%)

Meses	Condição Inicial - mês de outubro (MCSM - FVF em 70%)							
	Vol. Reser (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reser (%)	Vol. Evap (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Alfue (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Irrig (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Descarga (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Vertimento (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Abaste (hm <sup>3</sup> /mês)
<b>Vol. Inicial</b>	<b>30,516</b>							
Out	29,148	46,5	1,151	0,000	0,177	0,000	0,000	0,013
Nov	27,850	44,4	1,085	0,000	0,174	0,000	0,000	0,013
Dez	27,169	43,3	1,065	0,134	0,121	0,000	0,000	0,013
Jan	26,114	41,6	0,941	0,054	0,134	0,000	0,000	0,013
Fev	25,657	40,9	0,662	0,107	0,080	0,000	0,000	0,013
Mar	25,444	40,5	0,602	0,161	0,080	0,000	0,000	0,013
Abr	25,656	40,9	0,526	0,937	0,163	0,000	0,000	0,013
Mai	24,975	39,8	0,558	0,027	0,220	0,000	0,000	0,013
Jun	24,230	38,6	0,527	0,000	0,225	0,000	0,000	0,013
Jul	23,432	37,3	0,636	0,000	0,206	0,000	0,000	0,013
Ago	22,428	35,7	0,785	0,000	0,190	0,000	0,000	0,013
Set	*21,361	34,0	0,875	0,000	0,158	0,000	0,000	0,013
<b>Méd.</b>	<b>25,289</b>	<b>40,3</b>	<b>0,784</b>	<b>0,118</b>	<b>0,161</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,013</b>
<b>Total</b>	<b>303,464</b>	<b>-</b>	<b>9,413</b>	<b>1,420</b>	<b>1,928</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,013</b>

\* 70% do volume inicial = 21,361 hm<sup>3</sup>





**Figura 7.19:** Comportamento do reservatório Poço Redondo no MCSM- FVF em 70% em que o volume inicial foi o referente ao mês de Outubro.

**Tabela 7.33:** Refeitas líquidas (RL) auferidas e áreas alocadas para irrigação do MCSM – FVF em 70% (outubro).

Culturas	Condição Inicial - mês de outubro (MCSM - FVF em 70%)		
	Receita	Área Irrig.	diárias
	Líquida (RS)	(ha)	
Per	567.730,00	46,00	6.756
Saz1	0,00	0,00	0
Saz2	2.890,00	0,61	90
Saz3	120.570,00	25,62	3.769
Saz4	90.530,00	19,64	2.830
Saz5	97.020,00	20,62	3.033
Saz6	0,00	0,00	0
Saz7	0,00	0,00	0
Saz8	480,00	0,10	15
Saz9	24.980,00	5,31	781
Saz10	0,00	0,00	0
Saz11	0,00	0,00	0
Saz12	0,00	0,00	0
<b>TOTAL</b>	<b>904.200,00</b>	<b>117,90</b>	<b>17.275</b>

**Tabela 7.34:** Resultados referentes à piscicultura extensiva para o MCSM – FVF em 70%.

VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS PISCICULTURA EXTENSIVA (MCSM – FVF em 70%).
Área mínima (km <sup>2</sup> )	2,777
Produção de pescado (ton)	55,54
Mão de obra (pescadores)	337
Receita líquida (R\$)	83.314,72

Observando os resultados do MCSM com FVF em 70%, pode-se afirmar que o modelo respeita a condição de flexibilização do volume final. Nota-se que o volume do reservatório diminui com o passar dos meses. Por serem baixas, todas as demandas de irrigação são atendidas, bem como as demandas reservadas para o abastecimento urbano.

Em face das características climáticas rigorosas, o modelo conseguiu alocar áreas para irrigação somente para as sazonais 2, 3, 4, 5, 8 e 9, além dos 46 ha de culturas perenes pré-fixados. A sazonal 3 foi a que teve maior área alocada, 25,62 ha, gerando receita de R\$ 120.570,00. A RL total gerada no MCSM foi de R\$ 904.200,00 constituindo 17.275 diárias para mão-de-obra. Para as culturas sazonais 1, 6, 7, 10, 11 e 12 o modelo não alocou área para a irrigação, isso para que o reservatório recupere-se hidricamente para garantir a FVF em 70%.

Com relação aos resultados referentes à piscicultura extensiva, o modelo alocou receita líquida de R\$ 83.314,72 gerando mão de obra para 37 pescadores que irão produzir 55,54 toneladas de pescado.

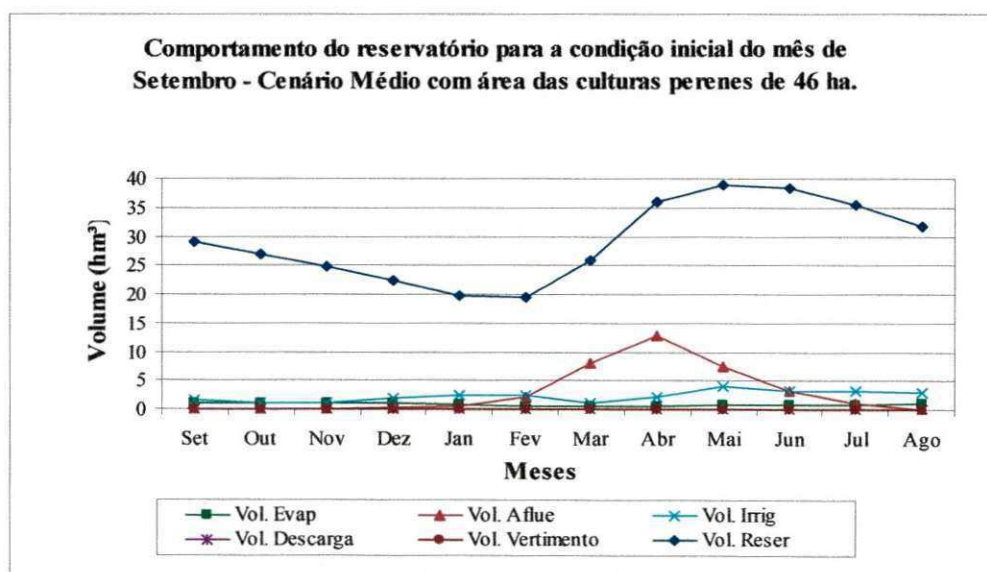
#### **Cenário médio fixando a área para culturas perenes em 46 ha (área otimizada para as culturas perenes no cenário seco) e otimizando para as culturas sazonais**

Como nos cenários anteriores, o modelo conseguiu resultados ótimos para todos os meses da condição inicial, contudo o mês que auferiu melhor receita líquida foi o mês de setembro (volume inicial = 31,694 hm<sup>3</sup>). As Tabelas 7.36, 7.37 e 7.38 apresentam comportamento do reservatório para essa condição inicial do mês de setembro, receitas líquidas

e áreas alocadas para as culturas e, por fim, os resultados da piscicultura extensiva desse cenário. A Figura 7.20 mostra o desempenho do reservatório.

**Tabela 7.35:** Resultados da otimização que se iniciou com volume igual a 31,694 hm<sup>3</sup> (mês de setembro) para o cenário médio com área fixa em 46 ha para as culturas perenes.

Condição inicial para o cenário médio com área das perenes de 46 ha – Mês de Setembro								
Meses	Vol. Reser (hm <sup>3</sup> )	Vol. Reser (%)	Vol. Evap (hm <sup>3</sup> )	Vaz. Alfue (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Irrig (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Descarga (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Vertimento (hm <sup>3</sup> /mês)	Vaz. Abaste (hm <sup>3</sup> /mês)
<b>Vol. Inicial</b>	<b>31,694</b>							
Set	28,951	46,1	1,048	0,000	1,687	0,000	0,000	0,013
Out	26,846	42,8	1,096	0,000	0,991	0,005	0,000	0,013
Nov	24,855	39,6	1,014	0,080	1,101	0,000	0,000	0,013
Dez	22,448	35,8	0,951	0,187	1,781	0,000	0,000	0,013
Jan	19,848	31,6	0,800	0,402	2,419	0,005	0,000	0,013
Fev	19,448	31,0	0,562	2,143	2,290	0,005	0,000	0,013
Mar	25,979	41,4	0,610	7,928	1,170	0,000	0,000	0,013
Abr	36,113	57,5	0,646	12,856	2,199	0,024	0,000	0,013
Mai	38,885	62,0	0,727	7,446	3,993	0,000	0,000	0,013
Jun	38,303	61,0	0,693	3,294	3,238	0,000	0,000	0,013
Jul	35,460	56,5	0,813	0,991	3,072	0,005	0,000	0,013
Ago	31,694	50,5	0,965	0,054	2,866	0,005	0,000	0,013
<b>Méd.</b>	<b>29,069</b>	<b>46,3</b>	<b>0,827</b>	<b>2,948</b>	<b>2,234</b>	<b>0,004</b>	<b>0,000</b>	<b>0,013</b>
<b>Total</b>	<b>348,830</b>	<b>-</b>	<b>9,925</b>	<b>35,382</b>	<b>26,808</b>	<b>0,051</b>	<b>0,000</b>	<b>0,013</b>



**Figura 7.20:** Comportamento do reservatório Poço Redondo no cenário médio e área das culturas perenes fixa em 46 ha, volume inicial referente ao mês de Setembro.

**Tabela 7.36:** Refeitas líquidas (RL) auferidas, áreas alocadas para irrigação e diárias do cenário médio com área para as culturas perenes fixas em 46 ha.

Culturas	Cenário médio com área das culturas perenes com 46 ha.		
	Receita Líquida (R\$)	Área Irrig. (ha)	diárias
Per	567.730,00	46,00	6.756
Saz1	2.294.850,00	487,63	71.742
Saz2	3.328.650,00	707,30	104.061
Saz3	2.111.030,00	448,57	65.996
Saz4	1.354.280,00	287,77	42.338
Saz5	2.401.800,00	510,35	75.086
Saz6	1.226.840,00	260,69	38.354
Saz7	14.700,00	3,12	459
Saz8	127.080,00	27,00	3.973
Saz9	697.700,00	148,25	21.812
Saz10	93.960,00	19,97	2.937
Saz11	124.230,00	26,40	3.884
Saz12	1.459.590,00	310,14	45.630
<b>TOTAL</b>	<b>15.802.440,00</b>	<b>3283,19</b>	<b>483.027</b>

**Tabela 7.37:** Resultados referentes à piscicultura extensiva para o cenário médio com área para as culturas perenes fixas em 46 ha.

VARIÁVEIS DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO	RESULTADOS PISCICULTURA EXTENSIVA (Cenário médio área fixa em 46 ha)
Área mínima (km <sup>2</sup> )	2,628
Produção de pescado (ton)	52,56
Mão de obra (pescadores)	35
Receita líquida (R\$)	78.834,73

Analisando os resultados para esse cenário, pode-se afirmar que o modelo respeita a condição sustentabilidade hídrica (SH) do reservatório, isto porque ao final da otimização o volume final é superior ao volume inicial. O período de depleção ocorre entre os meses de julho a fevereiro, não atingindo o volume mínimo estabelecido em 10% do volume máximo, e se recupera a partir do mês de março até junho coincidindo com o período de maiores afluências. Além das irrigações, o modelo atendeu as demandas para abastecimento urbano que foram de 0,013 hm<sup>3</sup>/mês.

O modelo alocou área para todas as culturas sazonais, além das culturas perenes que foi de 46 ha. Para as sazonais 2 e 5 o modelo alocou maiores glebas de áreas para irrigação 707,30 ha (RL = R\$ 3.328.650,00) e 510,35 ha (RL = R\$ 2.401.800,00), respectivamente. A receita líquida auferida para todas as culturas foi de R\$ 15.802.440,00 gerando 483.027 diárias para mão-de-obra. Já para a piscicultura extensiva, o modelo alocou uma receita de R\$ 78.834,73 gerando emprego para 35 pescadores que produzirão quase 52,5 toneladas de pescado.

## 7.2. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE DA ÁREA IRRIGADA

Em razão da região em estudo estar inserida no semi-árido, a água vem a ser o insumo mais valioso e manejá-la eficientemente torna-se uma obrigação, exigindo a adequação do volume de água fornecido para atender todas as demandas. Portanto, é recomendável que os indicadores relacionados ao consumo de água aproximem-se do valor unitário (SOUZA, 1999).

O modelo ORNAP (Curi & Curi, 1999), fez a estimativa da evapotranspiração potencial das culturas (ETP) e da precipitação efetiva (Pe). Os resultados dos indicadores da área irrigada para os 3 cenários estudados (MCM, MCSM e cenário médio com área para as culturas perenes fixas em 46 ha) são apresentados nas Tabelas 7.39, 7.40 e 7.41.

### Melhor cenário médio (MCM)

**Tabela 7.38:** Resultados referentes aos indicadores de desempenho da área irrigada para o melhor cenário médio (MCM - setembro).

Indicadores de desempenho da área irrigada - MCM									
Mês	área ha	Vol. Fornecido hm <sup>3</sup>	Pe hm <sup>3</sup>	ETP hm <sup>3</sup>	FRA	FRI	RGC	FMA hm <sup>3</sup> /ha	TAXA
Jan	895,00	2,07	0,35	1,95	1,24	1,30	0,77	0,0023	0,45
Fev	1526,52	1,61	1,13	2,38	1,15	1,29	0,78	0,0011	0,76
Mar	1801,00	0,53	2,39	2,81	1,04	1,28	0,78	0,0003	0,90
Abr	1818,03	1,72	1,35	2,69	1,14	1,29	0,78	0,0009	0,91
Mai	1818,16	3,30	0,22	2,78	1,26	1,29	0,78	0,0018	0,91
Jun	1186,64	2,06	0,02	1,61	1,29	1,29	0,77	0,0017	0,59
Jul	912,16	1,86	0,00	1,44	1,30	1,30	0,77	0,0020	0,46
Ago	895,13	2,31	0,00	1,78	1,30	1,30	0,77	0,0026	0,45
Set	898,76	2,66	0,00	2,05	1,30	1,30	0,77	0,0030	0,45
Out	898,76	2,92	0,00	2,25	1,30	1,30	0,77	0,0032	0,45
Nov	898,76	2,79	0,03	2,18	1,29	1,30	0,77	0,0031	0,45
Dez	898,76	2,57	0,19	2,17	1,27	1,30	0,77	0,0029	0,45
<b>Média</b>	<b>1203,973</b>	<b>2,20</b>	<b>0,47</b>	<b>2,17</b>	<b>1,24</b>	<b>1,29</b>	<b>0,77</b>	<b>0,0021</b>	<b>0,60</b>

Souza (1999) observou em seu estudo sobre indicadores de desempenho, que as precipitações em regiões semi-áridas são baixas e, devido a isso, os valores de FRA (Fornecimento Relativo de Água) e FRI (Fornecimento Relativo de Irrigação) tendem a apresentar comportamento semelhante ao longo do tempo. Os valores encontrados demonstram que no MCM o atendimento das demandas foi feito sem restrições no fornecimento de água. Note que os valores médios de FRA e FRI são de 1,24 e 1,29. Isto significa dizer que as demandas foram atendidas, em média, com 24% e 29% a mais de água, correspondente a necessidade de água das culturas e a demanda de irrigação. Observe que os menores valores de FRA e FRI são vistos entre os meses de janeiro e maio, coincidindo com o período chuvoso, em que a evaporação é reduzida e a exigência de água por parte das culturas, via irrigação, não é tão alta.

Segundo Brito (1999) o valor satisfatório de RGC (Razão Global de Consumo) se situa ao redor de 0,80. Neste cenário observe que o RGC variou entre 0,77 e 0,78, bem próximo do valor satisfatório proposto por Brito, representando uma boa eficiência do projeto.

Entre os meses de janeiro e junho os valores para FMA (Fornecimento Médio de Água) são os menores do MCM, coincidindo com o período chuvoso da região, que requer um menor uso de água irrigada para produzir um hectare cultivado.

A Tabela 7.39 mostra que os meses de julho a janeiro, meses com menores índices pluviométricos, apresentam menor (TAXA) de ocupação, coincidindo com os meses de menor área alocada pelo modelo. Para o MCM a taxa de ocupação média foi de 60% da área máxima para a irrigação.

**Melhor cenário seco dos melhores (MCSM)****Tabela 7.39:** Resultados referentes aos indicadores de desempenho da área irrigada para o melhor do cenário seco dos melhores (MCSM - outubro).

Indicadores de desempenho da área irrigada - MCSM									
Meses	área ha	Vol. Fornecido hm <sup>3</sup>	Pe hm <sup>3</sup>	ETP hm <sup>3</sup>	FRA	FRI	RGC	FMA hm <sup>3</sup> /ha	TAXA
Jan	46,00	0,13	0,00	0,10	1,30	1,30	0,77	0,0028	0,02
Fev	46,61	0,08	0,01	0,07	1,24	1,30	0,77	0,0016	0,02
Mar	72,23	0,08	0,04	0,10	1,17	1,29	0,78	0,0011	0,04
Abr	91,47	0,16	0,00	0,12	1,29	1,29	0,78	0,0017	0,05
Mai	112,09	0,21	0,01	0,17	1,27	1,29	0,78	0,0019	0,06
Jun	111,48	0,22	0,00	0,17	1,29	1,29	0,78	0,0019	0,06
Jul	85,86	0,20	0,00	0,16	1,28	1,29	0,78	0,0023	0,04
Ago	66,72	0,18	0,00	0,14	1,29	1,29	0,77	0,0028	0,03
Set	51,41	0,15	0,00	0,12	1,30	1,30	0,77	0,0030	0,03
Out	51,41	0,17	0,00	0,13	1,30	1,30	0,77	0,0033	0,03
Nov	51,41	0,17	0,00	0,13	1,30	1,30	0,77	0,0033	0,03
Dez	51,31	0,12	0,04	0,13	1,21	1,30	0,77	0,0023	0,03
<b>Média</b>	<b>69,83</b>	<b>0,16</b>	<b>0,01</b>	<b>0,13</b>	<b>1,27</b>	<b>1,29</b>	<b>0,77</b>	<b>0,0023</b>	<b>0,03</b>

Como no MCM, FRA e FRI atenderam as demandas sem restrições no fornecimento de água. Os valores médios são de 1,27 e 1,29, ou seja, as demandas foram atendidas, em média, com 27% e 29% a mais de água, para a necessidade das culturas e da demanda de irrigação. O RGC também variou entre 0,77 e 0,78, este último foi observado entre os meses de março a julho. No MCSM os menores valores de FMA são entre os meses de janeiro a junho.

Quando comparado os dois cenários, observe que no cenário seco (MCSM) os valores foram maiores, isto porque, se trata de um ano seco, em que requer maior quantidade de água para produzir um hectare cultivado, mesmo no período chuvoso. Entre os meses de março e julho verificaram-se as maiores taxas de ocupação (meses com maiores áreas alocadas para a irrigação). No MCSM a taxa de ocupação média foi de 0,03, ou seja, 3% da área máxima destinada para a agricultura irrigada.

**Cenário médio fixando a área para culturas perenes em 46 ha (área otimizada para as culturas perenes no cenário seco) e otimizando para as culturas sazonais**

**Tabela 7.40:** Resultados referentes aos indicadores de desempenho da área irrigada para o cenário médio com área das culturas perenes fixas em 46 ha (setembro).

Indicadores de desempenho da área irrigada – CM com área de 46 ha (C. Perenes)									
Meses	área ha	Vol. Fornecido hm <sup>3</sup>	Pe hm <sup>3</sup>	ETP hm <sup>3</sup>	FRA	FRI	RGC	FMA hm <sup>3</sup> /ha	TAXA
Jan	890,14	2,34	0,35	2,18	1,23	1,28	0,78	0,0026	0,45
Fev	1577,47	2,22	1,17	2,90	1,17	1,28	0,78	0,0014	0,79
Mar	1999,64	1,13	2,66	3,54	1,07	1,28	0,78	0,0006	1,00
Abr	1977,27	2,13	1,47	3,13	1,15	1,28	0,78	0,0011	0,99
Mai	1999,99	3,86	0,24	3,26	1,26	1,28	0,78	0,0019	1,00
Jun	1553,38	3,13	0,02	2,47	1,28	1,28	0,78	0,0020	0,78
Jul	1107,93	2,97	0,00	2,32	1,28	1,28	0,78	0,0027	0,55
Ago	847,16	2,77	0,00	2,17	1,28	1,28	0,78	0,0033	0,42
Set	485,06	1,63	0,00	1,28	1,28	1,28	0,78	0,0034	0,24
Out	244,34	0,96	0,00	0,75	1,28	1,28	0,78	0,0039	0,12
Nov	267,62	1,06	0,01	0,84	1,28	1,28	0,78	0,0040	0,13
Dez	550,76	1,72	0,12	1,46	1,26	1,28	0,78	0,0031	0,28
<b>Média</b>	<b>1125,063</b>	<b>2,16</b>	<b>0,50</b>	<b>2,19</b>	<b>1,23</b>	<b>1,28</b>	<b>0,78</b>	<b>0,0025</b>	<b>0,56</b>

Dos cenários analisados, este foi o que melhor atendeu as demandas e com menores excessos. Os valores médios de FRA e FRI são de 1,23 e 1,28. Os menores valores são vistos no período chuvoso, chegando a quase 1 no mês de março. O RGC para todos os meses foi de 0,78, representando uma boa eficiência do projeto.

A taxa de ocupação foi de praticamente 100% para os meses de março, abril e maio e de quase 80% nos meses de fevereiro e junho. Nos demais meses, a taxa de ocupação variou entre 12% e 55%, por se tratar de meses em que o modelo alocou menores áreas irrigadas devido à variação do volume de água no reservatório e as exigências das culturas com relação à água.

Quanto ao FMA o desempenho neste cenário foi semelhante ao MCM, onde os menores valores de FMA são observados entre os meses de janeiro a junho coincidindo com o período chuvoso da região, que requer um menor uso de água irrigada para produzir um hectare cultivado.



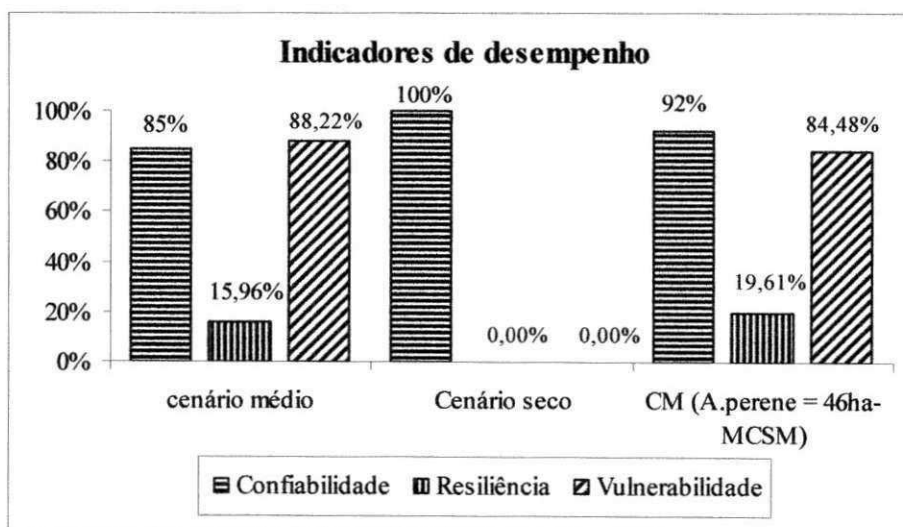
### 7.3. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO E ÍNDICES DE DESEMPENHO DO RESERVATÓRIO

A simulação fez-se necessária para se encontrar o déficit ou falha na demanda para irrigação e abastecimento de uma determinada série de vazões afluentes. Para este trabalho as séries de vazões que foram simuladas foram as que contemplam os anos de 1933 a 1985 (em anexo), sendo o período simulado de 53 anos e o intervalo de simulação mensal de 636 meses.

A Tabela 7.42 e a Figura 7.21 mostram os índices de desempenho do reservatório: confiabilidade, vulnerabilidade e resiliência obtidos para os cenários estudados.

**Tabela 7.41:** Confiabilidade, Resiliência, vulnerabilidade obtidas para os 3 cenários.

Cenários	Confiabilidade (%)	Resiliência (%)	Vulnerabilidade (%)
Cenário médio	85,22	15,96	88,22
Cenário seco	100,00	0,00	0,00
CM (A.perene = 46ha-MCSM)	91,98	19,61	84,48



**Figura 7.21:** Índices de desempenho para os cenários estudados.

Como era esperado, não houve déficits de demanda quando se usou as demandas com base nos resultados da otimização do cenário seco (MCSM), pelo fato das áreas encontradas para irrigação serem baixas.

Quanto aos cenários médios (MCM e CM com área da perene de 46 ha), ocorreram falhas de demandas. No MCM ocorreram 94 falhas num período simulado de 636 meses (53 anos). Para o cenário médio com área das culturas perenes fixas em 46 ha, ocorreram 51 falhas para o mesmo período simulado.

De imediato, observa-se que o cenário médio, em que se fixou as áreas das culturas perenes em 895 ha, é o de pior desempenho, pois apresentou a menor confiabilidade (85%) no atendimento das demandas e quando ocorrem falhas, são muito severas, com probabilidade de 88,22% de falha no atendimento ao requerimento de demanda (vulnerabilidade). O sistema tem 15,96% de probabilidade de se recuperar no próximo seguinte.

Enquanto que o cenário médio, que considera a área máxima alocada para as culturas perenes no cenário seco, satisfaz as demandas com 92% de confiabilidade e vulnerabilidade 84,5%, significando dizer que, mesmo satisfazendo as demandas na grande maioria das vezes, quando houveram falhas, elas foram severas (84,5% do atendimento ao requerimento a demanda) e longas (em média de 5 meses), que caracteriza situações de anos secos como é o semi-árido nordestino.

## 8. CONCLUSÕES

Ao pesquisar a viabilidade do uso otimizado dos recursos hídricos do reservatório Poço Redondo para múltiplos usos, e determinação de indicadores de desempenho do reservatório e da área irrigada nos cenários médio e seco, pode se concluir que, ao final da otimização no cenário médio, quando se fixou as culturas perenes e otimizou para as culturas sazonais, a área irrigada total foi menor (2.002,21 hectares) que a área irrigada na otimização das culturas sazonais (3.387,17 hectares), porém obteve-se receita líquida (RL) maior (R\$ 16.266.870,00), caracterizando que num ano onde as características são de um ano típico de precipitações médias, a melhor opção de irrigação é consorciar plantio de culturas perenes e sazonais, pois gera receita considerável em áreas menores.

Com relação ao social, geram-se mais diárias para mão-de-obra no plantio de sazonais do que com os outros plantios, isso é pelo fato de se ter diferentes planos de cultivo para esse tipo de cultura.

Pode-se praticar a piscicultura extensiva na otimização das culturas perenes e otimização das perenes+sazonais, a RL e produtividade do pescado foram praticamente os mesmos nas duas otimizações devido a exigência de água para as culturas perenes durante o ano,.

No cenário seco, as RL's para o plantio das perenes e perenes+sazonais foram praticamente o mesmo, porém nas perenes obteve-se a mesma receita em um área menor (3 hectares a menos). Enquanto que, quando se planta somente sazonal, gera-se um maior numero de diárias do que nas outras duas condições.

Com relação à piscicultura extensiva, no cenário seco obteve-se maior receita líquida do que no cenário médio, isso porque no cenário médio, o modelo alocou de forma otimizada toda a água para a irrigação.

Na otimização em que se fixou a área das culturas perenes encontradas na otimização no período seco (46 hectares), a receita líquida auferida foi menor que as otimizações no do período médio, apesar disto, a melhor situação seria a primeira, pois conforme os indicadores de desempenho quando ocorre uma falha hidrológica, está demoram em média 5 meses para retornar a situação normal e isto provocaria uma dizimação das culturas perenes que demoram entre 2 e 5 anos para produzirem.

Tendo em vista os resultados obtidos com o cenário piscícola, ficou evidente que a aqüicultura é uma excelente alternativa de usos múltiplos das águas do reservatório Poço Redondo. Em especial a carcinicultura que tem mercado certo tanto no atendimento do mercado interno como no exterior, obtendo RL de R\$ 5.175.554,48.

Quando se procurou verificar o efeito da condição inicial dos melhores cenários, médio e seco, constatou-se que o melhor mês para se iniciar o plantio foram os meses de setembro (cenário médio) obtendo receita líquida de R\$ 15 milhões e outubro (cenário seco) com RL de R\$ 940.200,00.

Com relação aos resultados dos indicadores de balanço hídrico, FRA, FRI, RGC, FMA e TAXA, apresentaram-se excelentes com valores próximos do unitário. Ao aumentar a área das culturas sazonais o fornecimento médio de água tendia a diminuir, caracterizando que as culturas perenes fazem melhor uso da água no período chuvoso, denotando que, se utilizou menos água pra produzir um hectare. Portanto, os resultados desses índices demonstraram a boa eficiência no sistema de irrigação utilizado, que no caso foi o de micro-aspersão.

Já com os indicadores de desempenho do reservatório, nos dois cenários analisados (MCM e CM com área de perenes de 46 ha), apesar de satisfazer as demandas em 85% para o MCM e em 92% para o CM com área das perenes de 46 ha, as falhas que ocorreram durante a simulação foram consecutivas e bastante severas, como é demonstrado no alto valor da vulnerabilidade obtido, que foi de 88,22 e 84,48% respectivamente. Tal resultado salienta a ocorrência de muitas situações de anos secos, o que caracteriza as condições climáticas do semi-árido nordestino.

Torna-se necessário proteger as culturas perenes, pois as falhas que ocorrem tem baixa probabilidade de retorno ao estado satisfatório no mês seguinte, são falhas muito severas, de modo que, se não resguardar essas culturas, haverá prejuízos tanto econômico como produtivo.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, P. R. G. S. (2000). **Operação integrada ótima do sistema hídrico Jucazinho-Carpina, para múltiplos usos - Rio Capibaribe/PE**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos, UFPB, Campina Grande-PB, p. 226.

ABCC – Associação Brasileira de Criadores de Camarão (2003). **Relatório: A carcinicultura brasileira em 2003**. Revista da ABCC/Ano 6 n1. p. 17.

AZEVEDO, L. G. T. *et al.* (1997). **Modelos de simulação e de rede de fluxo**. In: PORTO, R. L. L. org. **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos**. Ed. Universidade/UFRGS/ABRH. Porto Alegre-RS. cap. 4 p. 165-237.

AZEVEDO, L. G. T. *et al.* (1998). **Sistema de apoio a decisão para o gerenciamento integrado de quantidade e qualidade da água: metodologia e estudo de caso**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 3 n. 1, p. 21-51.

AZEVEDO NETTO *et al.* (2002). **Manual de hidráulica**. 8ª ed. 2ª reimpressão, São Paulo/SP. p. 63-108.

BARBOSA, D. L. (2001). **Otimização da operação de múltiplos reservatórios em paralelo para usos e objetivos múltiplos**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos, UFPB, Campina Grande-PB, p. 140.

BARBOSA, D. L. *et al.* (2001). **Um estudo de caso da operação integrada ótima de três reservatórios em paralelo com usos múltiplos.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Aracaju – SE, Novembro.

BARTH, F. T. (1987). **Fundamentos para a gestão dos recursos hídricos.** In: Modelos para o gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo: NOBEL/ABRH. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 1). p. 1-91.

BEVERIDGE, M. C. M. (1996). **Cage aquaculture.** Cambridge, Inglaterra: Fishing News Books, p. 351.

BOS, M. G. (1997). Performance indicators for irrigations and drainage. **Irrigation and drainage systems. dorfrecht**, vol. 11, n. 2, p. 119-137.

BOS, M. G. & NUGTEREN, J. (1978). **On irrigations efficiencys.** Wageningen: International institute for land reclamation and improvement (ILRI. Publication, 19). p. 117.

BRAGA, B. P. F. (1987). **Técnicas de otimização e simulação aplicadas em sistemas de recursos hídricos.** In: Modelos de gerenciamento de recursos hídricos. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, vol. 1, Nobel/ ABRH.

BRAGA, C. F. C. *et al.* (2004). **Gestão de recursos hídricos: Gerenciamento de bacias hidrográficas – Gerenciamento da demanda de água em zonas urbanas.** UFCG/UNESCO, Campina Grande-PB, p. 135-156.

BRASIL. (2000). **Programa nacional de combate ao desperdício de água.** Secretaria de política urbana. Disponível on-line em: <http://www.pncda.gov.br>.

BRITO, R. A. L. (1986). **Avaliação do desempenho de um perímetro irrigado – proposta para um modelo conceitual.** In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7, Brasília/DF. Anais. Brasília: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem. p. 749-775.

BRITO, R. A. L. *et al.* (1998). **Irrigation performance assessment for Nilo Coelho Scheme in Northeastern Brazil: A preliminary analysis.** In: afro-asian regional conference, 10, Bali. Proceedings?. Bali: ICID. v. II-A, A13.1-7.

BRITO, R. A. F. (1999). **Avaliação do desempenho da irrigação no Brasil (RPIP – Brasil)**. Sete Lagoas: EMBRAPA/SRH/IICA/FAPED/DHV (relatório final, 1997/98) p. 51.

CASTILLO, G. (2001). **Investigação Operacional e Optimização – Programação Linear**. Apresentação em Power Point. Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro – Portugal.

CIRILO, J. A. (1997), **Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos/** Organizado por Ruben La Laina Porto. [*et al.*], Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS/ Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

CUNHA, R. G. L. (1999). **Operação integrada do reservatório Engenheiro Arco Verde, poços amazonas e perímetro irrigado de Condado – PB, utilizando-se de programação linear**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos, UFPB, Campina Grande-PB, p. 112.

CUNNINGHAM, A. B. & AMEND, J. R. (1986). **Interactive simulation of water resource systems**. Journal Of Water Resources Planning And Management, vol. 115, n. 3, p. 326-337.

CURI, W. F. & CURI, R. C. (1999). **Modelo de otimização para operação de reservatórios (ORNAP)**. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande – PB.

DANTAS NETO, J. (1994). **Modelos de decisão para otimização do padrão de cultivo, em áreas irrigadas, baseados nas funções de resposta das culturas à água**. Tese de Doutorado em Irrigação e Drenagem – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu - SP.

FAO. (1998). **The state of world fisheries and aquaculture**. Documentation group cataloguing in publication data. FAO, Rome. p.98.

FRANCATO, A. L. & BARBOSA, P. S. F. (1996). **Programação ótima da operação energética de sistemas hidroelétricos**. In: XVII Congresso Latino-Americano de Hidraulica, Guayaquil, Equador.

GOMES, H. P. (1999). **Engenharia de irrigação hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. Editora Universitária – UFPB, Campina Grande/PB. p. 412.

HALL, W. A. & DRACUP, J. A. (1970). **Water resources systems engineering**. McGraw-Hill, Inc.

HASHIMOTO, T. *et al.* (1982). **Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation**. *Water Resources Research*, vol. 18, n. 1, p. 14-20.

HUSSAR, G. J. & ARRUDA, J. J. A. (2001). **Criação de peixes: construção de tanques, sistema de criação e principais espécies**. *Boletim Técnico n° 4, FPE – Fundação Pinhalense de Ensino*. Espírito Santo do Pinhal: CREURI. p.38.

KJELDSSEN, T. R. & ROSBJERD, D. (2001). **A framework for assessing the sustainability of a water resources system. Regional management of water resources**. In: 6<sup>th</sup> IAHS Scientific Assembly at Maastricht, Netherlands, July.

LABADIE, J. W. *et al.* (1984). **Network analysis of raw supplies under complex water rights and exchanges: Documentation for program MODSIM3**. Colorado Water Resources Institute, Fort Collins, Colorado, EUA.

LABSID – Laboratório de sistemas de suporte a decisão – USP (2002). **ACQUANET – Modelo para alocação de água em sistemas complexos de recursos hídricos – manual do usuário**. p. 22.

LANNA, A. E. (1993). **Gestão de recursos hídricos**. In: TUCCI, E. *Hidrologia – Ciência e aplicação*. Porto Alegre-RS: ABRH/EDUSP, p. 727-804.

LEVINE, G. (1982). **Relative water supply: an explanatory variable for irrigation systems**. Ithaca: Cornell University. (Technical Report, 8).

LIMA, C. A. G. (2004). **Análise e sugestões para diretrizes de uso das disponibilidades hídricas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Piancó, situada no estado da Paraíba**. Tese de Doutorado em Recursos Naturais, Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, UFCG, Campina Grande-PB, p. 272.

LIMA, G. *et al.* (2003). Índices de sustentabilidade para o planejamento estratégico de sistemas hídricos. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Curitiba – PR, p. 14.



LINSLEY, R. K. & FRANZINI, J. B. (1978). **Engenharia de recursos hídricos** – Tradução e adaptação: Luiz Américo Pastorino, Ed. Da Universidade de São Paulo/SP.

LOIÁICIGA, H. A. P. E. (2002). **Reservoir design and operation with variable lake hydrology**. *Journal of Water Resources Planning and Management*, pp. 399-405, November/December.

LOMBARDI, J. V. & MARQUES, H. L. A. (2004), Recomendações técnicas para a criação de camarões da Malásia: **Macrobrachium Rosenbergii**. Pesquisadores do Instituto de Pesca (SP).

LOUCKS, D. P. & DORFMAN, P. J. (1975). **An evaluation of some linear decision rules in chance-constrained models for reservoir planning and operation** / Editorial /. *Water Resources Research*, vol. 11, n. 9, p. 777-782.

LOUCKS, D. P. *et al.* (1981). **Water resources system planning and analysis**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

MACHADO, C. J. S. (2003). Gestão francesa de recursos hídricos: descrição e análise dos princípios jurídicos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, vol. 8, n. 4, p. 31-47.

MAIA, A. G. & VILELLA, S. M. (2001). **Gerenciamento do estoque de água do sistema de múltiplos reservatórios da Bacia do Paraguai**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Aracaju – SE.

MAIER, H. R. (2001). **First-order reliability method for estimating reliability, vulnerability, and resilience**. *Water Resources Research*, vol. 37, p. 779-790.

MARTIN, Q. W. (1983). **"Optimal operation of surface water system"**, *J. Water Resour. Planning and Mgmt.*, ASCE, 113(4), p. 453-470.

MATEUS, G. R. & LUNA, H. P. L. (1986). **Programação não linear**. V Escola de Computação. Belo Horizonte, MG.

MAUAD, F. F. *et al.* (2003). **Avaliação de conflitos de usos múltiplos de água em sistemas de recursos hídricos: O estado da arte.** In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Curitiba – PR. Novembro. Anais: CD-ROM.

MOHAN, S. & RAIPURE, D. M. (1992). **Multiobjective analysis of multireservoir system.** Journal of Water resources Planning and Management, vol. 118, p. 356-370.

MOLDEN. D. J. *et al.* (1998). **Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems.** IFPRI Working Papers on Irrigations Performance 1. Washington: International Food Policy Research Institute.

MOLLE, F. & CADIER, E. (1992). **Manual do pequeno açude.** SUDENE-DPG-PRN-APR, Recife/PE.

OCHSE, J. J. *et al.* (1966). **Tropical and sub-tropical agriculture.** Vol 2. Ed. MacMillan Company. New York (USA).

OLIVEIRA, E. F. C. C. (1998). **Simulação da operação e estimativa dos benefícios sócio-econômico do reservatório Coremas / Mãe D'água sujeito a múltiplos usos.** Dissertação de Mestrado, Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos, UFPB, Campina Grande-PB, p. 207.

OLIVEIRA, H. R. (2004). **Análise do aproveitamento múltiplo do reservatório de Barra Bonita – SP, através de aplicação de técnicas de programação linear associada a modelo de rede de fluxo.** Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos/SP, p. 147.

PDRH/PB – **Plano Diretor de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba.** (1997). Bacias do Rio Piancó e do Alto Piranhas, Estudo de Base, João Pessoa/PB. tomo. 3, vol. 2, p. 268.

PEIXOTO, L. S. (2002). **A utilização de simulação computacional no gerenciamento de usos múltiplos da água na Bacia do Sapucaí / Grande no Estado de São Paulo.** Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos/SP, p. 129.

PORTO, R. L. L. (1997). **Estudos de Operação do Sistema França – São José do Jacuípe,** Relatório Técnico para a Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia.

PORTO, R. L. L. (1999). **Estudos de Operação Do Reservatório de Ponto Novo no Rio Itapicuru**, Relatório Técnico para a Superintendência de Recursos Hídricos do Estado da Bahia.

PORTO, R. L. L. *et al.* (1999). **Sistema de suporte a decisão para operação dos grandes sistemas produtores da Sabesp**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte/MG, ABRH.

QUINTELA, A. C. (1981). **Hidráulica**. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa-Portugal.

ROBERTO, A. N. & PORTO, R. L. L. (1999). **Alocação da água entre usos múltiplos em uma bacia hidrográfica**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte - MG, ABRH.

ROBERTO, A. N. & PORTO, R. L. L. (2001). **O Sistema ModsimLS: um modelo de rede de fluxo para simulação de bacias hidrográficas**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju - SE, ABRH.

SAAD, J. C. C. & FIZZONE, J. A. (1996). **Modelo de Programação Não Linear para Dimensionamento e Operação de Sistema de Irrigação Localizada**, XXVI CONBEA – Campina Grande, PB.

SALATI, E. *et al.* (1999). **Água e desenvolvimento sustentável**. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B. e TUNDISI, J. G. **Águas Doce do Brasil**. São Paulo: Escrituras Editora. Cap. 2, p. 39-64.

SANTOS, C. A. G. *et al.* (2004). **Gestão de recursos hídricos: Gerenciamento de bacias hidrográficas**. UFCG/UNESCO, Campina Grande-PB, p. 231.

SCHURINGA, M. W. (2001). **Water demand management and the urban poor**. International Water and Sanitation Centre. Disponível on-line em: <http://www.irc.nl/themes/urban/demand.html>.

SILVA, M. A. V. (1984). **Atlas climatológico do Estado da Paraíba**. Governo do Estado da Paraíba.

SILVA, R. T. (1996). **Inserção dos programas de uso racional e conservação da água nas políticas regionais, urbanas e setoriais**. In: Encontro técnico sobre uso e conservação dos recursos hídricos. Brasília.

SILVA, C. A. B. (2004). **Estudo da otimização do uso dos recursos hídricos dos Açudes Santa Inês, Condado, Serra Vermelha I, Piranhas, Video, Vazante e Poço Redondo na Bacia do Rio Piancó**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos, UFCG, Campina Grande-PB, p. 137.

SILVA, W. P. & SILVA, C. P. (2003). **LABFIT Curve fitting software**. Versão 7.2.15. Departamento de Física – Centro de Ciências e Tecnologia da UFCG/PB.

SIMONOVIC, S. P. (1992). **Reservoir system analysis: closing gap between theory and practice**, Journal Water Resources Planning and Management. vol. 118, n. 3, p. 262-280.

SOUZA, G. H. F. (1999). **Indicadores de desempenho para a avaliação de perímetro irrigados: o caso do distrito de irrigação senador Nilo Coelho**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola , UFPB, Campina Grande-PB, p.61.

SOUZA FILHO, F. A. & PORTO R. L. L. (1997). **Definição dos níveis-meta do sistema de abastecimento de Fortaleza**. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. Vitória – ES. São Paulo: ABRH, vol. 2 p. 351-357.

SRINIVASAN, K. *et al.* (1999). **Mixed-integer programming model for reservoir performance optimization**. Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 125, n. 5, p. 198-301.

SUDENE (1990). **Dados pluviométricos mensais do Nordeste – Estado da Paraíba**. Recife/PE. Brasil, Pluviometria 5. p. 239.

SVENDSEN, M. & VERMILLION, D. (1994). **La transferencia del manejo del riego en la cuenca del río Columbia, EUA: Lecciones y connotaciones internacionales**. Colombo: IIMI. p. 98.

TATE, D. (2001). **An overview of water demand management and conservation**. Vision 21: Water For People. Disponível on-line: <http://www.wsscc.org/vision21>.

TICKLE, K. S. & GOULTER, I. C. (1994). Statistical properties of reliability and resiliency measures. In: **Stochastic and statistical methods in hydrology and environmental engineering**, vol. 4, p. 209-220.

VALENTI *et al.* (2000). **Aqüicultura no Brasil: Bases para um desenvolvimento sustentável**. Brasília: CNPq/Ministério da ciência e tecnologia. p. 399.

VIEIRA, V. P. P. B. (1996). **Recursos hídricos e o desenvolvimento sustentável do semi-árido nordestino**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), vol. 1, n. 1, p. 91-107.

WURBS, R. A. (1993). **Reservoir-system simulation and optimization models**. Journal Of Water Resources Planning Management, New York, vol. 119, n. 1, p. 91-107.

### 9.1. BIBLIOGRAFIAS COMPLEMENTARES

ALBUQUERQUE, A. S. O. (2003). **Operação Ótima e Integrada do Sistema Hídrico Composto pelos Reservatórios do Alto Capibaribe**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos, UFPB, Campina Grande-PB, p. 210.

ARCHIBALD, T. W. *et al.* (2001). **Controlling Multi-Reservoir Systems**. European Journal of Operational Research, vol. 129, p. 619-626.

BARROS, M. T. L. (1997). **A programação dinâmica aplicada à engenharia de recursos hídricos**. In: Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Porto Alegre: Editora da Universidade / UFRGS : ABRH. p.239-277.

BAZARAA, M. S. *et al.* (1990). **Linear programming and network flows**. John Wiley & Sons, New York - USA.

BRAGA, B. P. F. *et al.* (1983). **Curso de Engenharia Hidrológica**, vol. 02. EPUSP – DAEE – ABRH. São Paulo.

BRAGA, B. P. F. & NAKAYAMA, P. T. (1998). **Sistema de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), vol. 3, n. 3, p. 73-95.

CÂMARA, E. P. (2000). **Otimização da água do reservatório Coremas / Mãe D'água para múltiplos usos**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós- Graduação em Engenharia Civil, área de concentração: Recursos Hídricos, UFPB, Campina Grande-PB, p. 249.

CAMPOS, N. & STUDART, T. (2003). **Gestão das Águas: Princípios e Práticas**. 2<sup>a</sup>. ed. Porto Alegre-RS. p. 242.

CHANDRAMOULI, V. & RAMAN, H. (2001). **Multireservoir modeling with dynamic programming and neural network**. Journal of Water Resources Planning and Management, vol. 127, n. 2, p. 89-98.

CURI, W.F. & CURI, R.C. (2001). **"ORNAP" - Optimal Reservoir Network Analysis Program**, Anais do V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, CD-ROM, Aracajú-SE.

CURI, R. C. *et al.* (2004). **Gestão de recursos hídricos: Gerenciamento de Bacias Hidrográficas – Planejamento da Operação de Sistemas de Recursos Hídricos**. UFCG/UNESCO, Campina Grande-PB, p. 109-133.

CURI, R. C. & SILVA, T. C. (2004). **Gestão de recursos hídricos: Gerenciamento de Bacias Hidrográficas**. UFCG/UNESCO, Campina Grande-PB, p. 231.

EVALUACIÓN GLOBAL DE LOS RECURSOS MUNDIALES DE ÁGUA DOCE:. (1997). [online] Artículo Especial. Waterway, Boletim IHP, n. 11. Disponível na internet via WWW. URL: [http://www.unesco.org/uy/phi/wateresp/wa\\_11\\_astep](http://www.unesco.org/uy/phi/wateresp/wa_11_astep). Julho-Setembro.

FOUQUE, A. **Especies frutieras da Amerique Tropicale**. Fruits, Paris, v. 27, n.1, p.62-67, 1972.

FRAITURE, C. & GARCÉZ-RETRTEPO, C (1997). **Assessing trends and changes in irrigation performance. The case of Samaca Irrigation Écheme, Colombia**. In International Seminar: Research Programo in Irrigation Performance (RPIP). Mendoza, Argentina.

LABADIE, J. W. (1998). **Decision support systems applied to water resources engineering**. Curso promovido pela SABESP – EPUSP, São Paulo-SP.

LANNA, A. E. (1997). Análise de Sistemas e Engenharia de Recursos Hídricos. In: **Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Organizador: Rubem La Laina Porto. Editora Universidade/UFRGS/ABRH, Porto Alegre-RS.

MARANCA, G., (1993). **Fruticultura comercial: mamão, goiaba e abacaxi**. Ed. Nobel. Ed. 6ª. São Paulo. p.122.

MARTINS, R. S. *et al* (2003). **Evolução dos custos de produção de tilápias (*oreochromis niloticus*) em propriedades da região oeste do estado do Paraná**, agosto/2000 a julho/2003. UNIOESTE/Campus de Toledo- PR. p.17

MAUAD, F. F. (2000). **Planejamento Integrado de Recursos Hídricos Hidroenergéticos: O confronto de usos múltiplos da água no aproveitamento hidroelétrico de Alqueva em Portugal**. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas–SP, p. 182.

MÉLLO JUNIOR, A. V. & BRAGA JUNIOR, B. P. F. (1996). **Análise multiobjetivo aplicada a um sistema de produção agrícola**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), vol. 1, n. 1. p. 09-27.

OLIVEIRA, R. & LOUCKS, D. P. (1997). **Operating rules for multi-reservoir systems**. Water Resources Research. vol. 33, n. 4, p. 839-852.

VEDULA, S. & MUJUMDAR, P. P. (1992). **Optimal Reservoir Operation for Irrigations of Multiple Crops**. Water Resources Research, Vol. 28, n.1, pp. 1-9, January.

VIEIRA JUNIOR *et al*. (2003). **Sistema de alocação de água em bacias complexas pelo método dos pontos interiores**, Curitiba - PR. p. 16.

WURBS, R. A. *et al*. (1985). **"State-of-the-art review and annotated bibliography of systems analysis techniques applied to reservoir operation"**, Tech. Rep. 136, Texas Water Resources Institute, College Station, Tex.

WURBS, R. A. (1996). **Modeling and analysis of reservoir system operations**. Prentice Hall.

YEH, W., W-G. (1985). "Reservoir management and operation models: a state-of-the-art review", *Water Resources Planning and Management*, vol. 21, n. 12, p. 1797-1818.

## 9.2. SITES VISITADOS

<http://criareplantar.com.br/agricultura/arroz/index.php>  
<http://criareplantar.com.br/agricultura/cebola/cebola.php?tipoConteudo=texto&idConteudo=1327>  
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado/>  
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Algodao/AlgodaoIrrigado/metodosdeirrigacao.htm>  
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltas/irrigacao.htm>  
<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Banana/BananaRondonia/importancia.htm>  
<http://www.acaq.org.br/arquivos/docplani.pdf>  
<http://www.agridata.mg.gov.br/cfeijao2.htm>  
<http://www.agridata.mg.gov.br/viveiros.htm>  
<http://www.agro-fauna.com.br/culturas.php?cultura=72>  
<http://www.amazonpress.com.br/roraima/dedoc/rr23042002.htm>  
<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./agua/doce/index.html&conteudo=./agua/doce/artigos/piscicultura.html#equi>  
[http://www.aquicultura.br/recomendacoes\\_tecnicas\\_para.htm](http://www.aquicultura.br/recomendacoes_tecnicas_para.htm)  
<http://www.bibvirt.futuro.usp.br/especiais/frutasnobrasil/melao.html>  
<http://www.fieam-amazonas.org.br/invest/piscicultura.htm>  
<http://www.carcinicultor.com.br/>  
<http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/index.htm>  
[http://www.cnpmf.embrapa.br/mamao\\_produtores\\_pergunta.htm](http://www.cnpmf.embrapa.br/mamao_produtores_pergunta.htm)  
<http://www.cnpmf.embrapa.br/maracuja.htm>  
<http://www.cnpf.embrapa.br/public/folders/tomate.html>  
<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/>  
<http://www.cpatc.embrapa.br/index.php?idpagina=artigos&artigo=1522>  
<http://www.fnp.com.br/prodserv/internet/index.php>  
<http://www.geocities.com/coqueiroanao/irrigacao.htm>  
<http://www.guiageo.com/>  
<http://www.guirra.com.br/az/anona.htm>  
<http://www.ihendrix.br/Biologia/revista/salinidade.htm>  
[http://www.ipa.br/CD\\_1/B\\_AQUICULTURA/aquicultura.html](http://www.ipa.br/CD_1/B_AQUICULTURA/aquicultura.html)  
<http://www.ipa.br/OUTR/RECO/frut03.htm>  
<http://www.ipa.br/RESP/resp17.htm>  
<http://www.ipa.br/RESP/resp21.htm>  
<http://www.ipa.br/RESP/resp25.htm>



<http://www.ipa.br/RESP/resp28.htm>  
<http://www.ipa.br/RESP/resp29.htm>  
<http://www.ipa.br/RESP/resp31.htm>  
<http://www.ipa.br/RESP/resp36.htm>  
<http://www.ipa.br/RESP/resp37.htm>  
<http://www.ipa.br/RESP/resp42.htm>  
<http://www.ipa.br/RESP/resp44.htm>  
<http://www.ipa.br/RESP/resp45.htm>  
<http://www.irc.nl/themes/urban/demand.html>.  
<http://www.wsscc.org/vision21>.  
<http://www.nucleoestudo.ufla.br/nefrut/graviola.htm>  
<http://www.pescar.com.br/piscicultor/apostila.htm>  
<http://www.pncda.gov.br>  
<http://www.ruralnews.com.br/pecuaria/outros/peixes/agua.htm>  
[http://www.ruralnews.com.br/pecuaria/outros/peixes/carpas\\_reproducao.htm](http://www.ruralnews.com.br/pecuaria/outros/peixes/carpas_reproducao.htm)  
[http://www.ruralnews.com.br/pecuaria/outros/peixes/criacao\\_comercial\\_peixes.htm](http://www.ruralnews.com.br/pecuaria/outros/peixes/criacao_comercial_peixes.htm)  
<http://www.srjundiai.com.br/maracuja.htm>

# ANEXOS

## Anexo 1 - Dados técnicos do açude POÇO REDONDO

		Cota(m)	Área (m2)	Volume (m3)
Bacia hidrográfica	Piancó	74.00	-	-
Curso barrado	Riacho Poço Redondo	75.00	5,520	-
Município	Santana de Mangueira	76.00	30,648	18,084
Origem da Ficha	SUPLAN	77.00	55,776	61,296
Latitude	7°34'55"	78.00	80,904	129,636
Longitude	38°18'16"	79.00	106,032	223,104
Latitude (UTM - Km)		80.00	131,160	341,700
Longitude (UTM - Km)		81.00	251,008	532,784
Volume máximo (m3)	62,751,154.00	82.00	370,856	843,716
Volume morto (m3)		83.00	490,704	1,274,496
<b>Barragem</b>		84.00	610,552	1,825,124
Altura (m)	36.50	85.00	730,400	2,495,600
Comprimento (m)	672.00	86.00	934,016	3,327,808
Material	Terra	87.00	1,137,632	4,363,632
<b>Vertedor</b>		88.00	1,341,248	5,603,072
Largura (m)	150.00	89.00	1,544,864	7,046,128
Material		90.00	1,748,480	8,692,800
Tipo	Corte em rocha	91.00	1,921,368	10,527,724
Cota da soleira (m)	107.00	92.00	2,094,256	12,535,536
Cota mínima (m)	74.00	93.00	2,267,144	14,716,236
Cota do Porão (m)		94.00	2,440,032	17,069,824
<b>Outras Informações</b>		95.00	2,612,920	19,596,300
Início de construção		96.00	2,810,872	22,308,196
Conclusão de construção		97.00	3,008,824	25,218,084
Finalidade	Apenas irrigação	98.00	3,206,776	28,325,844
Área bac.hidráulica (ha)	540.00	99.00	3,404,728	31,631,596
Área bac.hidrográfica (km2)	452.50	100.00	3,602,680	35,135,300
Classif. água para abastec.		101.00	3,902,249	38,500,740
Classif. água para irrigação		102.00	4,100,181	41,875,217
Existe curva cota/área/vol.	Sim	103.00	4,401,635	45,321,348
K		104.00	4,599,569	49,275,120
Alfa		105.00	4,902,543	55,020,408
		106.00	5,111,049	58,552,215
		107.000	5,414,021	62,751,154
		108.000	5,716,996	68,316,663

## Anexo 2: Dados da série pluviometria.

Posto – Manairá  
Número – 3853467  
Cód. Nac. – 00738015

Estado – Paraíba  
Município - Manairá  
Instalado em 1933 p/ DNOCS

Latitude 07-42  
Longitude 38-10  
Altitude 605 m

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total
1933	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6D	16,0	105,6	24,1	-
1934	66,2	163,1	232,7	164,2	23,7	42,5	0,0	0,0D	0,0	0,0	24,3	24,0D	740,7
1935	158,0D	254,0D	283,8D	65,5D	95,0D	30,0D	6,0D	0,0D	0,0D	0,0D	0,0D	21,0D	913,3D
1936	20,0D	48,0D	28,2D	59,0D	13,0D	30,0D	0,0D	0,0D	0,0D	0,0D	0,0D	32,0D	230,2D
1937	15,5*	23,1*	11,4*	18,8*	9,7*	3,0*	0,6*	0,0	0,0	0,7	0,0	1,4*	780,0E
1938	36,8	62,3	392,0	116,6	16,9	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	70,2	716,9
1939	9,4*	18,2*	22,1*	14,5*	0,0*	13,6*	0,0*	0,0	0,0*	14,6*	65,2	0,0*	440,0E
1940	203,7	104,4	281,0	184,5	45,9	33,0	0,1	0,0	0,0	0,0	20,0	20,4	893,0
1941	2,3	129,4	204,7	78,3	20,0	13,0	20,6	2,0	0,0	6,0	62,0	110,0	648,3
1942	30,8	47,6	63,0	99,6	6,0	0,0	0,0	18,0	9,0	40,9	47,0	119,6	481,5
1943	49,0	97,0	143,6	146,0	17,0	25,5	6,4	9,0	0,0	0,0	36,0	28,0	557,5
1944	21,5	67,6	381,1	221,5	28,0	15,0	6,0	5,0	0,0	0,0	3,0	147,8	896,5
1945	77,9	110,0	208,8	115,0	132,0	21,0	12,0	0,0	0,0	43,7	0,0	220,0	940,4
1946	131,0	140,5	119,4	108,0	21,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,0	67,4	639,3
1947	36,9	151,9	510,6	173,4	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	55,0	35,0	969,8
1948	35,0	0,0	186,9	145,0	33,0	30,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,0	455,9
1949	0,0	91,6	81,3	172,4	56,0	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	90,7	0,0	500,0
1950	140,0	40,0	160,2	81,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,0	464,7
1951	0,0	24,0	84,5	151,0	60,0*	0,0*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	440,0E
1952	18,0	221,0	236,0	196,0	20,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,0	0,0	136,0	854,0
1953	26,0	188,0	117,0	61,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	103,0	0,0	495,0
1954	12,0	121,0	239,1	46,0	40,0	12,0	15,0	0,0	0,0	0,0	45,0	0,0	530,1
1955	199,6	176,5	117,5	82,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	35,0	621,2
1956	0,0	269,9	156,1	47,0	71,0	0,0	24,4	0,0	0,0	0,0	50,0	0,0	618,4
1957	32,0	48,6	350,8	95,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,7	549,6
1958	0,0	63,5	105,9	0,0	27,5	7,0	20,7	0,0	0,0	0,0	0,0	122,8	347,4
1959	53,0	154,5	159,0	46,2	5,0G	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,4	0,0	465,1
1960	18,6	52,3	524,0	142,0	16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	753,6
1961	53,3	92,6	195,8	48,0	0,0	0,0	36,4	0,0	0,0	0,0	0,0	16,5	442,6
1962	-	-	-	-	-	-	15,7	12,0	0,0	0,0	52,0	40,5	680,0E
1963	9,0	124,2	173,1	92,9	0,0	16,3	0,0	0,0	0,0	14,0	0,0	88,0	657,2H
1964	267,0	90,2	92,5	135,0	28,6	45,5	0,0	0,0	61,0	0,0	0,0	0,0	914,3H
1965	132,0	19,1	85,6	177,3	14,0	103,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	24,0	713,8H
1966	22,4	74,9	25,2	126,7	21,6	28,5	33,0	0,0	0,0	0,0	59,1	80,4	599,1H
1967	34,8	219,6	267,0	156,9	93,8	0,0	5,4	0,0	0,0	0,0	5,8	8,8	1002,1H
1968	136,7	56,0	395,0	60,2	44,2	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52,0	745,2
1969	112,2	57,3	90,2	159,3	67,1	38,8	19,2	6,2	0,0	2,0	0,0	74,0	626,3
1970	127,2	84,0	69,1	63,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0*	0,0*	0,0*	440,0E
1971	152,4	374,3	221,7	213,7	28,7	28,6	30,0	0,0	1,8	0,0	0,0	13,0	1064,2
1972	105,4	94,9	191,8	114,0	61,0	25,5	28,0	18,2	0,0	0,0	0,0	164,6	830,4
1973	123,1	3,6*	15,8	47,2*	44,0	82,7	27,0	0,0	14,0	54,0	4,6	92,7	950,0E
1974	234,3	307,5	345,9	150,4	59,8	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	74,0	35,6	1216,5
1975	114,1	274,3	189,2	188,5	38,2	20,8	73,4	0,0	0,0	0,0	64,0	102,5	1065,0
1976	39,0	190,3	210,4	80,0	7,0	0,0	0,0	0,0	25,0	31,3	17,9	36,0	636,9
1977	59,4	80,5	227,7	206,8	79,6	45,1	25,5	0,0	0,0	5,0	0,0	89,2	818,8
1978	51,0	94,4	157,4	154,2	135,3	12,0	16,0	0,0	6,0	17,2	0,0	53,2	696,7
1979	129,6	67,0	201,3	319,0	94,4	8,6	1,3	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	824,5
1980	147,6	164,2	124,0	0,0	0,0	18,0	27,0	0,0	6,0	22,0	68,0	55,0	631,8
1981	113,7	78,3	268,6	32,0	0,0	0,0	9,0	2,0	0,0	0,0	5,0	67,3	575,9
1982	18,0	35,0	161,3	82,6	25,0	4,2	23,8	3,0	5,3	1,4	10,0	50,1	419,7
1983	83,0	123,0	103,0	80,3	41,2	9,0	8,0	0,0	0,0	0,0	6,0	9,5	463,0
1984	62,1	59,6	237,7	-	59,5	0,0	4,3	23,3	0,0	0,0	11,0	0,0	-
1985	257,1	360,8	255,2	399,3	142,6	107,2	10,8	0,0	15,0	3,4	5,7	158,1	1715,2
Média	80,6	123,9	197,3	124,2	37,0	19,1	10,5	1,9	2,9	5,7	22,5	52,1	699,4
Máxima	267,0	374,3	524,0	399,3	142,6	107,2	73,4	23,3	61,0	54,0	105,6	220,0	1715,2
Mínima	0,0	0,0	15,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	230,2

D - Total mensal somente

E,F,G - Valor estimado

H - Valor homogeneizado

\* - Valor duvidoso

Origem dos dados - Arquivo de microfichas da SUDENE.

**Anexo 3: Dados da série de vazões afluentes, médias mensais (m<sup>3</sup>/s) ao reservatório Poço Redondo.**

**SUB-BACIA DO AÇUDE POÇO REDONDO**  
(Área de drenagem 469,53 Km<sup>2</sup>)

ANO	VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m <sup>3</sup> /s)												Q
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1933	0,10	0,53	0,23	1,27	1,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,03	3,54
1934	0,03	0,11	8,60	5,46	3,96	2,73	0,55	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	21,47
1935	0,07	1,09	13,11	7,30	7,67	3,38	1,39	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	34,06
1936	0,01	0,59	0,98	0,10	0,00	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,77
1937	0,01	0,56	1,24	2,74	2,67	1,14	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	8,50
1938	0,02	0,04	1,15	3,91	3,90	1,53	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	10,61
1939	0,00	0,47	1,74	3,75	1,96	0,33	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	8,28
1940	1,55	2,04	8,06	9,88	5,82	4,06	1,62	0,01	0,00	0,00	0,13	0,00	33,17
1941	0,01	0,49	1,94	1,78	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,51
1942	0,00	0,03	0,08	0,35	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,08	0,63
1943	0,03	0,34	0,43	2,04	1,37	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	4,34
1944	0,00	0,00	0,92	3,78	3,13	1,17	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	9,07
1945	0,02	0,05	0,65	2,28	2,39	2,44	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	8,82
1946	0,02	0,55	0,86	0,26	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	0,11	2,70
1947	0,05	0,36	12,27	18,60	4,41	1,23	0,02	0,00	0,00	0,00	0,07	0,41	37,41
1948	0,00	0,00	2,54	4,36	2,38	1,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,34
1949	0,00	0,10	0,11	1,59	1,39	0,85	0,00	0,01	0,00	0,00	0,19	0,61	4,84
1950	0,28	0,03	1,39	10,37	4,55	1,81	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	18,55
1951	0,00	0,00	0,16	1,35	2,49	1,03	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,10
1952	0,00	0,80	2,34	3,74	2,50	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	10,08
1953	0,00	0,03	0,51	0,37	0,26	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,30	1,89
1954	0,00	0,60	0,28	1,53	1,27	0,81	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	4,55
1955	0,33	1,25	1,00	0,58	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,42
1956	0,00	0,53	0,83	3,58	2,36	0,63	0,02	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	7,98
1957	0,29	0,00	1,31	2,62	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	5,20
1958	0,02	0,04	0,06	0,35	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,54
1959	0,02	0,04	0,46	0,49	0,00	0,05	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08
1960	0,00	0,01	2,74	10,95	3,66	1,54	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,00
1961	0,29	0,82	1,62	2,14	0,56	0,00	0,16	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	5,60
1962	0,01	0,16	0,95	0,61	0,21	0,04	0,18	0,00	0,00	0,01	0,04	0,03	2,23
1963	0,04	0,30	2,82	4,47	3,06	0,71	0,06	0,00	0,00	0,00	0,02	0,47	11,94
1964	1,27	1,57	5,77	5,84	4,80	3,99	2,05	0,24	0,02	0,00	0,00	0,00	25,56
1965	0,46	0,29	0,24	2,60	3,36	2,53	1,45	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	10,99
1966	0,01	1,06	0,92	0,41	0,13	0,62	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	3,64
1967	0,04	0,74	21,32	37,56	13,88	3,67	1,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	78,35
1968	0,24	0,12	1,71	1,63	1,66	0,99	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	6,37
1969	0,09	0,25	0,57	1,38	0,81	0,56	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,70
1970	0,17	0,22	2,19	1,39	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,44
1971	0,09	0,13	2,25	5,93	5,14	2,87	1,20	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	17,63
1972	0,23	0,53	0,90	0,47	0,22	0,13	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	2,54
1973	0,06	0,10	0,90	2,14	2,85	1,46	0,48	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	8,02
1974	0,80	10,11	22,99	7,69	4,95	3,02	0,80	0,00	0,00	0,00	0,05	0,03	50,44
1975	0,11	0,25	8,49	5,02	5,39	2,81	1,53	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	23,87
1976	0,00	0,84	1,38	1,76	0,32	0,00	0,00	0,00	0,04	0,10	0,00	0,00	4,45
1977	0,04	0,36	0,33	0,97	1,87	2,21	0,79	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	6,61
1978	0,07	0,14	1,60	1,87	2,23	0,66	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	6,68
1979	0,11	0,32	1,56	4,11	5,14	2,15	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,60
1980	0,11	0,64	3,10	1,30	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,12	0,07	5,43
1981	0,00	0,08	1,74	7,10	1,65	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	10,61
1982	0,01	0,00	0,23	0,28	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	1,11
1983	0,02	1,13	0,70	2,09	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,41
1984	0,00	0,03	1,46	20,39	5,00	3,08	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,61
1985	0,78	12,51	8,49	23,46	9,61	4,48	2,81	0,52	0,00	0,00	0,00	0,18	62,84
	Parâmetros Estatísticos												683,13
Med	0,15	0,82	3,02	4,68	2,56	1,19	0,36	0,02	0,00	0,00	0,03	0,06	
S =	15,75												
Med =	12,89												
	Med = média						S = desvio padrão						
							Med-S/2 = 5,01			Med+S/2 = 20,76			

Fonte: SUDENE (1990).