



ELABORAÇÃO DO PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PIRANHAS-AÇU

Relatório Parcial

RP-02 – Estudo Hidrológico da Bacia e Disponibilidade Hídrica (Qualidade e Quantidade)

CONTRATO 042/ANA/2012

Dezembro/2012



APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O presente documento constitui o RELATÓRIO PARCIAL - 02 denominado **RP-02 - ESTUDO HIDROLÓGICO DA BACIA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA (QUANTIDADE E QUALIDADE)** elaborado pela IBI ENGENHARIA CONSULTIVA S/S, como parte integrante da elaboração do PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PIRANHAS-AÇU (PRH Piranhas-Açu), elaborado segundo o Edital e Termos de Referência originado do Processo N° 02501.000225/2011-10 e Contrato n° 042/ANA/2012.

Conforme especificado nos Termos de Referência (TDR), a elaboração do PLANO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO RIO PIRANHAS-AÇU deverá ser estruturada na apresentação de produtos intermediários e finais, compondo os dos seguintes relatórios:

1. PRODUTOS INTERMEDIÁRIOS:

1.1. Relatórios Mensais de Andamento (RA) - relatórios mensais, com informações resumidas sobre as atividades realizadas no mês reportado ou seja: as reuniões mantidas e previstas com a CTPI e ANA, as pendências verificadas e os documentos emitidos. Como anexo devem constar: Atas de reunião, listas de presença desses encontros, apresentações feitas em reuniões de trabalho e quaisquer outros documentos que possam enriquecer o registro do andamento dos trabalhos.

1.2. Relatórios Parciais (RP) - relatórios parciais, que devem ser apresentados ao longo dos trabalhos de elaboração do PRH Piranhas-Açu.

1.2.1. RP-01 - Relatório de Programação - Este relatório engloba o item 6.3. do TDR – Mobilização e Coleta de Dados, que antecede a Etapa C (Diagnóstico) e corresponde ao início das atividades de elaboração do PRH. Compreende quatro atividades - mobilização; coleta, análise e sistematização de dados; sobrevôo na bacia; reunião inicial com a CTPI; e elaboração e emissão do Relatório de Programação consolidado (RP-01).

1.2.2. RP-02 - Estudo hidrológico da bacia e disponibilidade hídrica (quantidade e qualidade) – Este relatório se refere ao item 6.4.5 do TDR e consiste na avaliação quantitativa e qualitativa da disponibilidade hídrica em pontos notáveis da bacia hidrográfica, com base nas séries de vazões da rede de monitoramento mantida na bacia pela ANA e pelas Unidades da Federação e nos dados operacionais dos principais açudes existentes na bacia. No que se refere à disponibilidade hídrica subterrânea, esta consiste na avaliação dos sistemas aquíferos e seu potencial hídrico apontando as áreas mais favoráveis à exploração por poços, as áreas de recarga e a produtividade dos poços.

1.2.3. RP-03 - Diagnóstico da Bacia do Rio Piranhas-Açu – Este relatório se refere às tarefas descritas no item 6.4 do TDR e compreende a descrição e a avaliação integrada e contextualizada do quadro natural e antrópico existente na bacia, das restrições e das potencialidades hídricas associadas às demandas atuais e tendências futuras para os diversos usos. Envolve a articulação de diferentes áreas do conhecimento relacionadas a esses usos, incluindo, conforme

mencionado, o conhecimento da dinâmica social e ecológica, além da organização e a condução do processo de participação pública, com vistas a subsidiar a execução do PRH. É composto por sete blocos de atividades: caracterização física da bacia; caracterização do quadro socioeconômico-cultural presente; aspectos institucionais e legais da gestão de recursos hídricos na bacia; elaboração do estudo hidrológico da bacia e diagnóstico das disponibilidades hídricas (já apresentado no **Relatório RP-02**); diagnóstico das demandas hídricas; balanço hídrico e formulação do diagnóstico integrado e contextualizado para os fins do PRH Piranhas-Açu.

1.2.4. RP-04 - Cenários Futuros para os Recursos Hídricos da Bacia nos Horizontes de Planejamento Considerados – este relatório se refere às tarefas descritas no item 6.5 do TDR e corresponde (i) à montagem do cenário tendencial das disponibilidades e das demandas ao longo do tempo, com a premissa da permanência das condições atualmente vigentes, (ii) ao desenho de cenários alternativos e (iii) à prospecção de medidas destinadas a compatibilizar as disponibilidades hídricas com as demandas, sob esses diferentes cenários prospectivos.

1.2.5. RP-05 - Metas, Programas, Medidas Emergenciais e Programa de Investimentos do PRH Piranhas-Açu – Este relatório se refere ao Plano propriamente dito e é formado por parte das tarefas descritas no item 6.6.1 do TDR. Corresponde à (i) definição das metas do PRH; (ii) proposição de intervenções organizadas como programas, projetos e medidas emergenciais e (iii) montagem do programa de investimentos do PRH.

1.2.6. RP-06 - Diretrizes para Implementação do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piranhas-Açu – Este relatório se refere ao Plano propriamente dito e é formado por parte das tarefas descritas no item 6.6.1 do TDR. Corresponde à (i) diretrizes para implementação dos instrumentos de gestão na bacia e alocação de água; (ii) proposta para o enquadramento no âmbito do plano; (iii) recomendações para a gestão das transposições de bacia existentes e planejadas; (iv) diretrizes para melhoria da qualidade das águas; (v) arranjo institucional para implementação do plano; (vi) recomendações para os setores usuários de recursos hídricos; (vii) roteiro para Implementação do PRH Piranhas-Açu e (viii) agregação das Ações e Intervenções recomendadas pelo PRH Piranhas-Açu

2. PRODUTOS FINAIS:

2.1. Relatório Executivo do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piranhas-Açu - Relatório de teor gerencial que contenha a mensagem básica do plano, os temas relevantes, as intervenções apontadas, as principais diretrizes e ilustrações sobre a bacia, redigidas de forma sintética e em linguagem acessível.

2.2. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piranhas-Açu (PRH Piranhas-Açu) – Relatório Final - documento completo, que integra e consolida os produtos parciais e respectivas ilustrações.

- 2.3. CD ROM interativo** - arquivo digital da versão final do PRH Piranhas-Açu, com linguagem simples e de fácil acesso, para ser distribuído para os integrantes do CBH Piranhas-Açu, escolas, associações de moradores, etc.
- 2.4. SIG-Plano** - base de dados de acesso local, contendo informações tabulares e espaciais, de interesse do plano de bacia, a serem definidas durante o projeto, que poderão ser visualizadas na forma de mapas temáticos.

SUMÁRIO

RP-02 - ESTUDO HIDROLÓGICO DA BACIA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA (QUANTIDADE E QUALIDADE)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUPERFICIAIS	21
2.1. Introdução	21
2.1. Inventário da rede hidrológica	25
2.1.1. Dados de pluviometria	26
2.1.2. Dados de fluviometria	26
2.1.3. Dados de Evaporação e Evapotranspiração	29
2.2. Estudos da Pluviometria	31
2.2.1. Considerações Gerais	31
2.2.2. Preenchimento de Falhas	38
2.3. Estudos de Fluviometria	42
2.3.1. Estações Fluviométricas Principais da Bacia do Piranhas-Açu	42
2.3.2. Métodos de Extensão de Séries por Modelo Chuva-Vazão	51
2.3.3. Ajuste do Modelo SMAP-M às Estações Fluviométricas da Bacia do Piranhas-Açu	59
2.4. Vazão Regularizada dos Açudes Estratégicos da Bacia do Piranhas-Açu	69
2.4.1. Considerações Gerais	69
2.4.2. Metodologia do Balanço Hídrico	75
2.4.3. Estudos Anteriores de Vazões Regularizadas para os Açudes da Bacia do Piranhas-Açu	80
2.4.4. Vazões Regularizadas	81
2.4.5. Conclusões sobre o Estudo de Vazões Regularizadas	186
3. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS	193
3.1. Monitoramento da qualidade da água na bacia	193
O IGARN/RN analisa também em cada ponto amostral da bacia no RN, as concentrações de sete metais pesados (Cobre, Chumbo, Cromo, Cádmio, Zinco, Níquel e Mercúrio).	193
3.2. Dados utilizados	194
3.3. Enquadramento dos corpos d'água	195
3.4. Situação da Qualidade da Água na Bacia do Piranhas-Açu	196
3.4.2. Índice de Qualidade de Água – IQA	211
3.4.3. Índice de Estado Trófico - IET	214
3.4.4. Cianobactérias	220
3.4.5. Metais Pesados	221
3.2.6 Salinidade	222

3.5. Análise Geral	225
4. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA	229
4.1. Introdução	229
4.1.1. Documentos consultados	229
4.1.2. Dados Utilizados	230
4.1.3. Conceituação/Glossário	230
4.2. Aspectos Geológicos Regionais da Bacia do Piranhas-Açu	232
4.2.1. Embasamento Cristalino	232
4.2.2. Bacia Potiguar	233
4.2.3. Bacia do Rio do Peixe	238
4.2.4. Coberturas e Aluviões	240
4.2.5. Barreiras	241
4.2.6. Serra dos Martins	241
4.3. As Águas Subterrâneas	242
4.3.1. Considerações Gerais	242
4.3.2. Domínios Hidrogeológicos	243
4.3.3. Uso da Água	255
4.3.4. Rede de Monitoramento	256
4.4. Reservas, Recursos Explotáveis e Disponibilidades das Águas Subterrâneas	257
4.4.1. Reservas	257
4.4.2. Recursos Explotáveis ou Potencialidade Aquífera (P)	258
4.4.3. Disponibilidades Hídricas Subterrâneas	259
4.5. Estimativa das Disponibilidade das Águas Subterrâneas	260
4.5.1. Disponibilidade Efetiva dos Poços no Domínio Hidrogeológico Fraturado	262
4.5.2. Disponibilidade Instalável dos Poços no Domínio Hidrogeológico Fraturado	263
4.5.3. Disponibilidade Efetiva dos Poços no Domínio Hidrogeológico Poroso	264
4.5.4. Disponibilidade Instalável dos Poços no Domínio Hidrogeológico Poroso	265
4.5.5. Disponibilidade dos Poços no Domínio Hidrogeológico Cárstico	265
5. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	268
6. CONCLUSÕES	276
6.1. Disponibilidades Hídricas Superficiais	276
6.1.1. Conclusões sobre o Processo de Modelagem das Vazões Regularizadas	276
6.1.2. Conclusões sobre os Resultados Obtidos para as Águas Superficiais na Bacia do Piranhas-Açu	277
6.2. Disponibilidades Hídricas Subterrâneas	278
6.3. Qualidade das Águas	280
7. BIBLIOGRAFIA	284
8. ANEXOS	
8.1. Mapa de Falhas	

- 8.2. Curvas de Cota Área Volume dos Reservatórios Estratégicos
8.3. Memórias de Calculo Referentes a Disponibilidade Hídrica dos Reservatórios Estratégicos

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Açudes com Capacidade Igual ou Superior a 10 hm ³ na Bacia do Piranhas-Açu	23
Tabela 2.2. Postos selecionados para a confecção dos polígonos de Thiessen dos reservatórios a serem simulados	31
Tabela 2.3. Postos Pluviométricos do Grupo 1 – G1	34
Tabela 2.4. Postos Pluviométricos do Grupo 2 – G2	35
Tabela 2.5. Postos Pluviométricos do Grupo 3 – G3	35
Tabela 2.6. Postos Pluviométricos do Grupo 4 – G4	35
Tabela 2.7. Postos Pluviométricos do Grupo 5 – G5	36
Tabela 2.8. Postos Pluviométricos do Grupo 6 – G6	36
Tabela 2.9. Postos Pluviométricos do Grupo 7 – G7	36
Tabela 2.10. Ficha Técnica da Estação Várzea Grande (ANA, 2012)	43
Tabela 2.11. Ficha Técnica da Estação Piancó (ANA, 2012)	44
Tabela 2.12. Ficha Técnica da Estação Sítio Vassouras (ANA, 2012)	45
Tabela 2.13. Ficha Técnica da Estação Jardim de Piranhas (ANA, 2012)	46
Tabela 2.14. Ficha Técnica da Estação Sítio Acauã I (ANA, 2012)	47
Tabela 2.15. Ficha Técnica da Estação Sítio Acauã II (ANA, 2012)	48
Tabela 2.16. Ficha Técnica da Estação Sítio Volta (ANA, 2012)	49
Tabela 2.17. Ficha Técnica da Estação São Fernando (ANA, 2012)	50
Tabela 2.18. Resumo dos Parâmetros de Calibração do Modelo SMAP para Sítio Vassouras	60
Tabela 2.19. Resumo dos Parâmetros de Calibração do Modelo SMAP para Piancó	62
Tabela 2.20. Resumo dos Parâmetros de Calibração do Modelo SMAP para Jardim de Piranhas	63
Tabela 2.21. Resumo dos Parâmetros de Calibração do Modelo SMAP para Sítio Volta	65
Tabela 2.22. Resumo dos Parâmetros de Calibração do Modelo SMAP para São Fernando	66
Tabela 2.23. Relação dos Açudes Estratégicos na Bacia do Piranhas-Açu	70
Tabela 2.24. Evapotranspirações de Referência para a Bacia do Piranhas-Açu	74
Tabela 2.25. Vazões Regularizadas dos Estudos Anteriores para os Dois Maiores Açudes da Bacia do Piranhas-Açu.	81
Tabela 2.26. Ficha Técnica do Açude Estevam Marinho (Coremas)	83
Tabela 2.27. Ficha Técnica do Açude Eng ^o Egberto da Cunha (Mãe d' Água)	83
Tabela 2.28. Vazões Regularizadas do Sistema Coremas-Mãe d' Água	84
Tabela 2.29. Vazões Regularizadas do Açude Engenheiro Ávidos	88
Tabela 2.30. Vazões Regularizadas do Açude Saco	90
Tabela 2.31. Vazões Regularizadas do Açude Lagoa do Arroz	92
Tabela 2.32. Vazões Regularizadas do Açude Cachoeira dos Cegos	94
Tabela 2.33. Vazões Regularizadas do Açude Jenipapeiro	96
Tabela 2.34. Vazões Regularizadas do Açude Capoeira	98

Tabela 2.35. Vazões Regularizadas do Açude São Gonçalves	100
Tabela 2.36. Vazões Regularizadas do Açude Baião	102
Tabela 2.37. Vazões Regularizadas do Açude Bruscas	104
Tabela 2.38. Vazões Regularizadas do Açude Condado	106
Tabela 2.39. Vazões Regularizadas do Açude Carneiro	108
Tabela 2.40. Vazões Regularizadas do Açude Eng ^o Arcoverde	110
Tabela 2.41. Vazões Regularizadas do Açude Tapera	112
Tabela 2.42. Vazões Regularizadas do Açude Santa Inês	114
Tabela 2.43. Vazões Regularizadas do Açude Farinha	116
Tabela 2.44. Vazões Regularizadas do Açude Piranhas	118
Tabela 2.45. Vazões Regularizadas do Açude Várzea Grande	120
Tabela 2.46. Vazões Regularizadas do Açude Riacho dos Cavalos	122
Tabela 2.47. Vazões Regularizadas do Açude São Bartolomeu I	124
Tabela 2.48. Vazões Regularizadas do Açude Jatobá I	126
Tabela 2.49. Vazões Regularizadas do Açude Escondido	128
Tabela 2.50. Vazões Regularizadas do Açude São Mamede	130
Tabela 2.51. Vazões Regularizadas do Açude Queimadas	132
Tabela 2.52. Vazões Regularizadas do Açude Timbaúba	134
Tabela 2.53. Vazões Regularizadas do Açude Bom Jesus	136
Tabela 2.54. Vazões Regularizadas do Açude Pilões	138
Tabela 2.55. Vazões Regularizadas do Açude Santa Luzia	140
Tabela 2.56. Vazões Regularizadas do Açude Serra Vermelha I	142
Tabela 2.57. Vazões Regularizadas do Açude Cachoeira dos Alves	144
Tabela 2.58. Vazões Regularizadas do Açude Catolé I	146
Tabela 2.59. Vazões Regularizadas do Açude Canoas	148
Tabela 2.60. Vazões Regularizadas do Açude Poço Redondo	150
Tabela 2.61. Vazões Regularizadas do Açude Santa Rosa	152
Tabela 2.62. Vazões Regularizadas do Açude Vazante	154
Tabela 2.63. Vazões Regularizadas do Açude Eng ^o Armando Ribeiro Gonçalves	156
Tabela 2.64. Vazões Regularizadas do Açude Boqueirão de Parelhas	158
Tabela 2.65. Vazões Regularizadas do Açude Itans	160
Tabela 2.66. Vazões Regularizadas do Açude Mendubim	162
Tabela 2.67. Vazões Regularizadas do Açude Sabugi	164
Tabela 2.68. Vazões Regularizadas do Açude Passagem das Traíras	166
Tabela 2.69. Vazões Regularizadas do Açude Marechal Dutra	168
Tabela 2.70. Vazões Regularizadas do Açude Cruzeta	170
Tabela 2.71. Vazões Regularizadas do Açude Carnaúba	172
Tabela 2.72. Vazões Regularizadas do Açude Pataxó	174
Tabela 2.73. Vazões Regularizadas do Açude Esguincho	176
Tabela 2.74. Vazões Regularizadas do Açude Boqueirão de Angicos	178
Tabela 2.75. Vazões Regularizadas do Açude Rio da Pedra	180
Tabela 2.76. Vazões Regularizadas do Açude Beldroega	182
Tabela 2.77. Vazões Regularizadas do Açude Dourado	184

Tabela 2.78. Vazões Regularizadas do Açude Caldeirão de Parelhas	186
Tabela 2.79. Sumário das Vazões Regularizadas na Bacia do Piranhas-Açu por Unidade de Planejamento	189
Tabela 3.1. Parâmetros mínimos da Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas (ANA 2012) que são monitorados nos açudes pela SUDEMA/PB e IGARN/RN.	194
Tabela 3.2. Classes de enquadramento conforme os usos das águas doces segundo a Resolução CONAMA 357/2005. *O nível de tratamento da água para consumo humano varia entre as classes. ** Diferentes cultivos podem ser irrigados dependendo da classe.	195
Tabela 3.3. Padrões de qualidade das águas doces de ambientes lênticos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para as diferentes classes de enquadramento em função dos parâmetros analisados neste diagnóstico.	196
Tabela 3.4. Categorias de estado trófico e respectivos valores de índice de estado trófico e concentrações de fósforo total e clorofila a para açudes e rios segundo Lamparelli (2004).	214
Tabela 3.5. Média da Densidade de Cianobactérias (estação seca a chuvosa) em cél./mL, monitorados nos reservatórios do Rio Grande do Norte (período de setembro de 2008 a agosto de 2011).	221
Tabela 3.6. Média (± 1 desvio padrão) das concentrações de Cobre (Cu) e Chumbo (Pb) na água dos açudes monitorados pelo IGARN/RN. n.a.= não analisado por ausência de dados.	222
Tabela 3.7. Média da concentração de salinidade (%o) nos reservatórios do RN (período de setembro de 2008 a agosto de 2011).	223
Tabela 3.8. Média dos valores de Condutividade Elétrica (estação seca a chuvosa) em $\mu\text{S}/\text{cm}$, nos reservatórios da Paraíba (período de abril de 2007 a outubro de 2010).	224
Tabela 3.9. Média dos valores de Sólidos Dissolvidos Totais (estação seca a chuvosa) em mg/L, nos reservatórios da Paraíba (período de abril de 2007 a outubro de 2010).	225
Tabela 4.1. Síntese dos resultados do cadastramento de poços Trecho Upanema – Afonso Bezerra, Bacia Potiguar.	243
Tabela 4.2. Área dos domínios hidrogeológicos da Bacia Piranhas – Açu	244
Tabela 4.3. Principais características dos poços construídos para o monitoramento no Aquífero Açu, Bacia Potiguar	257
Tabela 4.4. Potencial hídrico subterrâneo e recursos subterrâneos exploráveis nas Bacias do Rio Piranhas e Rio do Peixe	259
Tabela 4.5. Recursos hídricos subterrâneos da Bacia Piranhas - Açu	259
Tabela 4.6. Vazões dos poços nos diferentes domínios hidrogeológicos da Bacia Piranhas – Açu	261
Tabela 4.7. Disponibilidade Efetiva (De) dos Poços no Domínio Hidrogeológico Fraturado nas Unidades de Planejamento (UP) da Bacia Piranhas- Açu.	263
Tabela 4.8. Disponibilidade Instalável (Di) dos poços no Domínio Hidrogeológico Fraturado na Bacia Piranhas- Açu	263
Tabela 4.9. Disponibilidade Efetiva (De) dos poços no Domínio Poroso na Bacia Piranhas - Açu.	264
Tabela 4.10. Disponibilidade Instalável (Di) dos poços no Domínio Hidrogeológico Poroso na Bacia Piranhas- Açu	265
Tabela 4.11. Disponibilidade hídrica dos poços no Domínio Hidrogeológico Cárstico na Bacia Piranhas- Açu	266
Tabela 5.1. pH das águas subterrâneas na Bacia Piranhas- Açu	270
Tabela 5.2. Concentrações de cloretos nas águas subterrâneas da Bacia Piranhas – Açu	272
Tabela 5.3. Concentrações de ferro nas águas subterrâneas do Piranhas – Açu	272
Tabela 5.4. Concentrações de nitrato nas águas subterrâneas do Piranhas – Açu	273

Tabela 6.1. Potencial hídrico subterrâneo e recursos subterrâneos exploráveis nas Bacias do Rio Piranhas e Rio do Peixe	279
Tabela 6.2. Disponibilidade hídrica dos poços no Domínio Hidrogeológico Cárstico na Bacia Piranhas- Açu	280

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Mapa de Falhas das Estações Fluviométricas Seleccionadas na Bacia do Piranhas-Açu.	29
Figura 2.2. Zonas Hidrológicas Homogêneas do Estado do Rio Grande do Norte	34
Figura 2.3. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 1.	39
Figura 2.4. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 2.	39
Figura 2.5. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 3	40
Figura 2.6. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 4	40
Figura 2.7. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 5	41
Figura 2.8. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 6	41
Figura 2.9. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 7	42
Figura 2.10. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica Várzea Grande (37220000).	44
Figura 2.11. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica Piancó (37340000).	45
Figura 2.12. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica Sítio Vassouras (37410000).	46
Figura 2.13. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica Jardim de Piranhas (37470000).	47
Figura 2.14. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica Sítio Acauã I (3710100).	48
Figura 2.15. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica Sítio Acauã II (3710150).	49
Figura 2.16. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica Sítio Volta (37515000).	50
Figura 2.17. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica São Fernando (37570000).	51
Figura 2.18. Esquema de funcionamento do Modelo Chuva-Vazão SMAP (BARROS, 2007)	54
Figura 2.19. Fluxograma do Modelo Chuva-Vazão Smap a Nível Mensal (LOPES et.al. 1981)	57
Figura 2.20. Ajuste da calibração do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Sítio Vassouras (37410000)	61
Figura 2.21. Ajuste da Validação do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Sítio Vassouras (37410000)	61
Figura 2.22. Ajuste da calibração do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Piancó (37340000)	62
Figura 2.23. Ajuste da Validação do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Piancó (37340000)	63
Figura 2.24. Ajuste da calibração do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Jardim de Piranhas (37470000)	64

Figura 2.25. Ajuste da Validação do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Jardim de Piranhas (37470000)	64
Figura 2.26. Ajuste da calibração do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Sítio Volta (37515000)	65
Figura 2.27. Ajuste da Validação do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Sítio Volta (37515000)	66
Figura 2.28. Ajuste da calibração do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de São Fernando (37570000)	67
Figura 2.29. Ajuste da Validação do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de São Fernando (37570000)	67
Figura 2.30. Tela de Abertura do Programa Simulador de Reservatórios.	79
Figura 2.31. Localização dos Açudes Estevam Marinho-Egberto da Cunha (Coremas-Mãe d'Água)	82
Figura 2.32. Curvas de Regularização do Açude Coremas-Mãe d'Água.	84
Figura 2.33. Localização do Açude Engº Ávidos na bacia.	87
Figura 2.34. Curvas de Regularização do Açude Engº Ávidos.	88
Figura 2.35. Localização do açude Saco-PB.	89
Figura 2.36. Curvas de vazões regularizadas para o açude Saco-PB.	90
Figura 2.37. Localização do Açude Lagoa do Arroz, em Cajazeiras-PB.	91
Figura 2.38. Curva de vazões regularizadas para o açude Lagoa do Arroz.	92
Figura 2.39. Localização do açude Cachoeira dos Cegos, em Catingueira-PB.	93
Figura 2.40. Curva de vazões regularizadas para o açude Cachoeira dos Cegos.	94
Figura 2.41. Localização do açude Jenipapeiro, em Olho d'Água-PB.	95
Figura 2.42. Curva de vazão regularizada do açude Jenipapeiro.	96
Figura 2.43. Localização do açude Capoeira, em Mãe d'Água-PB.	97
Figura 2.44. Curva de vazões regularizadas do açude Capoeira.	98
Figura 2.45. Localização do açude São Gonçalo, em Souza-PB.	99
Figura 2.46. Curva de vazões regularizadas do açude São Gonçalo.	100
Figura 2.47. Localização do açude Baião, em São José do Brejo do Cruz-PB.	101
Figura 2.48. Curva de vazões regularizadas do açude Baião.	102
Figura 2.49. Localização do açude Bruscas, em Curral Velho-PB.	103
Figura 2.50. Curva de vazões regularizadas do açude Bruscas.	104
Figura 2.51. Localização do açude Condado, em Conceição-PB.	105
Figura 2.52. Curva de vazões regularizadas do açude Condado.	106
Figura 2.53. Localização do açude Carneiro, em Jericó-PB.	107
Figura 2.54. Curva de vazões regularizadas do açude Carneiro.	108
Figura 2.55. Localização do açude Engº Arcoverde, em Condado-PB.	109
Figura 2.56. Curvas de vazões regularizadas do açude Engº Arcoverde.	110
Figura 2.57. Localização do açude Tapera, em Belém do Brejo do Cruz-PB.	111
Figura 2.58. Curvas de vazões regularizadas do açude Tapera	112
Figura 2.59. Localização do açude Santa Inês, em Conceição-PB.	113
Figura 2.60. Curvas de vazões regularizadas do açude Santa Inês.	114
Figura 2.61. Localização do açude Farinha, em Patos-PB.	115
Figura 2.62. Curvas de vazões regularizadas do açude Farinha.	116

Figura 2.63. Localização do açude Piranhas, em Ibiara-PB.	117
Figura 2.64. Curvas de vazões regularizadas do açude Piranhas.	118
Figura 2.65. Localização do açude Várzea Grande, em Picuí-PB.	119
Figura 2.66. Curva de vazões regularizadas do açude Várzea Grande.	120
Figura 2.67. Localização do açude Riacho dos Cavalos, em Riacho dos Cavalos-PB.	121
Figura 2.68. Curvas de vazões regularizadas do açude Riacho dos Cavalos.	122
Figura 2.69. Localização do açude São Bartolomeu I, em Bonito de Santa Fé-PB.	123
Figura 2.70. Curva de vazões regularizadas do açude São Bartolomeu I.	124
Figura 2.71. Localização do açude Jatobá I, em Patos-PB.	125
Figura 2.72. Curvas de vazões regularizadas do açude Jatobá I	126
Figura 2.73. Localização do açude Escondido, em Belém do Brejo do Cruz.	127
Figura 2.74. Curvas de vazões regularizadas do açude Escondido.	128
Figura 2.75. Localização do açude São Mamede, em São Mamede-PB.	129
Figura 2.76. Curvas de vazões regularizadas do açude São Mamede.	130
Figura 2.77. Localização do açude Queimadas, em Santana dos Garrotes-PB.	131
Figura 2.78. Curvas de vazões regularizadas do açude Queimadas.	132
Figura 2.79. Localização do açude Timbaúba, no município de Jurú-PB.	133
Figura 2.80. Curvas de vazões regularizadas do açude Timbaúba.	134
Figura 2.81. Localização do açude Bom Jesus (Poço Comprido), em Água Branca-PB.	135
Figura 2.82. Curvas de vazões regularizadas do açude Bom Jesus II.	136
Figura 2.83. Localização do açude Pilões, em São João do Rio do Peixe.	137
Figura 2.84. Curvas de vazões regularizadas do açude Pilões.	138
Figura 2.85. Localização do açude Santa Luzia (Tartaruga), em Santa Luzia-PB.	139
Figura 2.86. Curvas de vazões regularizadas do açude Santa Luzia.	140
Figura 2.87. Localização do açude Serra Vermelha I, em Conceição-PB.	141
Figura 2.88. Curvas de vazões regularizadas do açude Serra Vermelha I	142
Figura 2.89. Localização do açude Cachoeira dos Alves, em Itaporanga-PB.	143
Figura 2.90. Curvas de vazões regularizadas do açude Cachoeira dos Alves.	144
Figura 2.91. Localização do açude Catolé I, em Manaíra-PB.	145
Figura 2.92. Curvas de vazões regularizadas do açude Catolé I.	146
Figura 2.93. Localização do açude Canoas, em Nova Olinda-PB.	147
Figura 2.94. Curvas de vazões regularizadas do açude Canoas.	148
Figura 2.95. Localização do açude Poço Redondo, em Santana de Mangueira.	149
Figura 2.96. Curvas de vazões regularizadas do açude Poço Redondo.	150
Figura 2.97. Localização do açude Santa Rosa, em Belém do Brejo do Cruz.	151
Figura 2.98. Curvas de vazões regularizadas do açude Santa Rosa.	152
Figura 2.99. Localização do açude Vazante, município de Diamante-PB.	153
Figura 2.100. Curvas de vazões regularizadas do açude Vazante.	154
Figura 2.101. Localização do açude Armando Ribeiro Gonçalves, em Açu-RN.	155
Figura 2.102. Curvas de vazões regularizadas do açude Armando Ribeiro Gonçalves.	156
Figura 2.103. Localização do açude Boqueirão de Parelhas, em Parelhas-RN.	157
Figura 2.104. Curvas de vazões regularizadas do açude Boqueirão de Parelhas.	158
Figura 2.105. Localização do açude Itans, em Caicó-RN.	159

Figura 2.106. Curvas de vazões regularizadas do açude Itans.	160
Figura 2.107. Localização do açude Mendubim, no município de Açú-RN.	161
Figura 2.108. Curvas de vazões regularizadas do açude Mendubim.	162
Figura 2.109. Localização do açude Sabugi, em São João do Sabugi-RN.	163
Figura 2.110. Curvas de vazões regularizadas do açude Sabugi.	164
Figura 2.111. Localização do açude Passagem das Traíras, em Jardim do Seridó-RN.	165
Figura 2.112. Curvas de vazões regularizadas do açude Passagem das Traíras.	166
Figura 2.113. Localização do açude Marechal Dutra, em Acari-RN.	167
Figura 2.114. Curvas de vazões regularizadas do açude Mal Dutra.	168
Figura 2.115. Localização do açude Cruzeta, em Cruzeta-RN.	169
Figura 2.116. Curvas de vazões regularizadas do açude Cruzeta.	170
Figura 2.117. Localização do açude Carnaúba, em São João do Sabugi-RN.	171
Figura 2.118. Curva de vazão regularizada do açude Carnaúba.	172
Figura 2.119. Localização do açude Pataxós, em Ipanguçu-RN.	173
Figura 2.120. Curva de vazões regularizadas do açude Pataxós.	174
Figura 2.121. Localização do açude Esguincho, em Ouro Branco-RN.	175
Figura 2.122. Curva de vazão regularizada do açude Esguincho.	176
Figura 2.123. Localização do açude Boqueirão de Angicos, em Angicos-RN.	177
Figura 2.124. Curvas de vazões regularizadas do açude Boqueirão de Angicos	178
Figura 2.125. localização do açude Rio da Pedra, em Santana do Mato-RN.	179
Figura 2.126. Curvas de regularização de vazão do açude Rio da Pedra.	180
Figura 2.127. Localização do açude Beldroega, em Paraú.	181
Figura 2.128. Curva de regularização do açude Beldroega	182
Figura 2.129. Localização do açude Dourado, em Currais Novos-RN.	183
Figura 2.130. Curva de regularização de vazão do açude Dourado.	184
Figura 2.131. Localização do açude Caldeirão de Parelhas, em Parelhas-RN.	185
Figura 2.132. Curvas de regularização de vazões do açude Caldeirão de Parelhas.	186
Figura 3.1. Valores médios (± 1 desvio padrão) de turbidez na água dos açudes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Paraú (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraíba (MPPB), Médio Piranhas Paraíba-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).	198
Figura 3.2. Concentrações médias (± 1 desvio padrão) de Oxigênio Dissolvido (mg/L) na água dos açudes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Paraú (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraíba (MPPB), Médio Piranhas Paraíba-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).	200
Figura 3.3. Concentrações médias (± 1 desvio padrão) de DBO (mg/L) na água dos açudes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Paraú (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraíba (MPPB), Médio Piranhas Paraíba-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).	203
Figura 3.4. Concentrações médias (± 1 desvio padrão) de Coliformes Termotolerantes (UFC/100mL) na água dos açudes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Paraú (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraíba	

(MPPB), Médio Piranhas Paraibano-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).	206
Figura 3.5. Concentrações médias (± 1 desvio padrão) de Fósforo Total (mg/L) na água dos açudes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Paraú (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraibano (MPPB), Médio Piranhas Paraibano-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).	209
Figura 3.6. IQA médio (± 1 desvio padrão) dos açudes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Paraú (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraibano (MPPB), Médio Piranhas Paraibano-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).	212
Figura 3.7. IET médio (± 1 desvio padrão) dos açudes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Paraú (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraibano (MPPB), Médio Piranhas Paraibano-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).	216
Figura 3.8. Variação anual do IET do açude Armando Ribeiro Gonçalves entre 2000 e 2009 e percentagem do tempo que o açude foi classificado nas diferentes categorias de estado trófico em cada ano (dados de Martinez et al. 2010).	219
Figura 3.9. Variação temporal do índice derivado do satélite MODIS para medir indiretamente as concentrações de clorofila a na água do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves e sua relação com o nível d'água do reservatório entre 2007 e 2010 (dados de Martinez et al. 2010).	220
Figura 4.1. Estratigrafia da Bacia Potiguar, nordeste do Brasil.	234
Figura 4.2. Perfil de resistividade e uma possível seção geológica esquemática (CASTELO BRANCO, R. M., 2006 in CPRM/UFRN/FINEP, 2007a)	235
Figura 4.3. Perfil de resistividade e uma possível seção geológica esquemática (CASTELO BRANCO, R.M., 2006 in CPRM/UFRN/FINEP, 2007a)	235
Figura 4.4. Perfil de resistividade e uma possível seção geológica esquemática (CASTELO BRANCO, R.M., 2006 in CPRM/UFRN/FINEP, 2007a)	236
Figura 4.5. Perfil de resistividade e uma possível seção geológica esquemática (CASTELO BRANCO, R.M., 2006 in CPRM/UFRN/FINEP, 2007a)	237
Figura 4.6. Isopacas da Formação Jandaíra na Bacia Potiguar	237
Figura 4.7. Isopacas da Formação Açú na Bacia Potiguar	238
Figura 4.8. Esboço geológico da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe	238
Figura 4.9. Perfil topográfico e geológico (Fonte: CPRM/UFCG/FINEP, 2007b)	240
Figura 4.10. Distribuição dos pontos de água cadastrados pela CPRM para a Bacia Hidrográfica Piranhas – Açú	248
Figura 4.11. Distribuição dos poços nos domínios hidrogeológicos da Bacia Piranhas – Açú	248
Figura 4.12. Valores considerados anômalos da profundidade do nível estático – Bacia Piranhas - Açú	249
Figura 4.13. Evolução da construção de poços na Bacia Piranhas – Açú (RN)	251
Figura 4.14. Evolução da construção de poços na Bacia Piranhas – Açú (PB)	251
Figura 4.15. Valores anômalos de profundidade de poços na Bacia Piranhas – Açú	252
Figura 4.16. Situação dos poços na Bacia Piranhas – Açú (PB)	255
Figura 4.17. Situação dos poços na Bacia Piranhas – Açú (RN)	255
Figura 4.18. Uso das águas subterrâneas na Bacia Piranhas – Açú, porção Paraíba.	256
Figura 4.19. Uso das águas subterrâneas na Bacia Piranhas – Açú, porção Rio Grande do Norte	256

Figura 5.1. Classificação iônica pelo Diagrama de Piper das águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe – Paraíba (Fonte: FERNANDES et al., 2007 in CPRM/UFCEG/FINEP, 2007b)	268
Figura 5.2. Valores anômalos de Sólidos Totais Dissolvidos – STD na Bacia Piranhas - Açú	271
Figura 5.3. Classificação iônica das águas subterrâneas no Diagrama de Piper (Fonte: CPRM/UFRN/FINEP, 2007a).	274

LISTA DE MAPAS

Mapa 2.1. Unidades de Planejamento da Bacia do Piranhas-Açú	22
Mapa 2.2. Postos Fluviométricos Existentes / Analisados / Utilizados	28
Mapa 2.3. Municípios da Bacia do Piranhas-Açú com Dados de Evapotranspiração na Base FAOCLIM.	30
Mapa 2.4. Distribuição Espacial dos Postos Pluviométricos Seleccionados na Bacia do Piranhas-Açú.	33
Mapa 2.5. Mapa de Isoietas	37
Mapa 2.6. Localização e Bacias Hidrográficas dos Reservatórios Estratégicos	72
Mapa 3.1. Turbidez	197
Mapa 3.2. Concentrações médias de Oxigênio Dissolvido (mg/L) na água dos açudes e rios monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.	201
Mapa 3.3. Valores médios de DBO _{5,20} (mg/L) na água dos açudes e rios monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.	204
Mapa 3.4. Concentrações médias de Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) na água dos açudes e rios monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.	207
Mapa 3.5. Valores médios de P total (mg/L) na água dos açudes e rios monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.	210
Mapa 3.6. IQA médio dos açudes e rios monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.	213
Mapa 3.7. IET médio dos açudes e rios monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.	217
Mapa 4.1. Domínios Hidrogeológicos da Bacia Hidrográfica do Piranhas – Açú	245
Mapa 4.2. Distribuição dos Poços Tubulares na Bacia Piranhas - Açú	246
Mapa 4.3. Distribuição dos Poços Manuais (Escavados) e Fontes Naturais na Bacia Piranhas - Açú	247
Mapa 4.4 - Profundidade do Nível estático das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Piranhas - Açú	
Mapa 4.5. Profundidade dos Poços na Bacia Hidrográfica do Piranhas - Açú	
Mapa 4.6. Vazões dos Poços na Bacia Hidrográfica do Piranhas - Açú	254
Mapa 5.1. Sólidos Totais Dissolvidos na Bacia Piranhas - Açú	269

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório, denominado RP-02 - Estudo hidrológico da bacia e disponibilidade hídrica (quantidade e qualidade) corresponde ao item 6.4.5 do TDR e engloba as Atividades C.1 a C.4 do Diagnóstico. Está organizado em seis capítulos.

O Capítulo 1 trata desta introdução. No Capítulo 2 - Disponibilidades hídricas superficiais - é feita a avaliação das disponibilidades hídricas superficiais, no seu aspecto quantitativo, e compreende três tipos de avaliação, com base na sua abrangência espacial: a primeira, do ponto de vista global, incide sobre toda a área territorial da bacia do Piranhas-Açu; a segunda, mais local, é realizada em função da subdivisão hidrográfica em 11 Unidades de Planejamento Hídrico (UP's) proposta no RP1 - Plano de Trabalho (Bacias Difusas do Baixo Piranhas, Médio Piranhas Paraibano, Médio Piranhas Paraibano/Potiguar, Médio Piranhas Potiguar, Alto Piranhas, Espinharas, Paraú, Pataxó, Peixe, Piancó e Seridó) e, finalmente, a terceira, é realizada em conformidade com a divisão em ottobacias, já definidas para a bacia do Piranhas-Açu pela ANA.

Ainda no que se refere ao Capítulo 2, primeiramente apresenta-se o inventário da rede hidrometeorológica, compreendendo a distribuição espacial dos postos pluviométricos, fluviométricos e estações evaporimétricas e sedimentológicas existentes na bacia. São apresentados, em seguida, os Mapas de Falhas dos postos pluviométricos e fluviométricos, que serviram de base para a seleção dos postos pluviométricos e estações fluviométricas utilizados nos estudos hidrológicos de avaliação da disponibilidade hídrica superficial. Os postos foram selecionados em função da extensão da série histórica, da menor quantidade de falhas dos registros e na qualidade dos dados observados, considerando sua consistência e homogeneidade.

A avaliação das disponibilidades hídricas superficiais naturais é efetuada com base no emprego do modelo SMAP – Soil Moisture Accounting Procedure, cujos parâmetros são relacionados com parâmetros físicos da bacia. O processo de calibração/validação do Modelo SMAP para os postos fluviométricos selecionados, permitiu o emprego dos parâmetros do modelo para geração de vazões afluentes aos reservatórios estratégicos da bacia do Piranhas-Açu, bem como para avaliação da vazão natural disponível nas sub-bacias e Unidades de Planejamento adotadas para o plano.

O estudo quantitativo da disponibilidade hídrica superficial se encerra com a simulação operacional dos reservatórios da bacia, determinando suas curvas de capacidade de regularização de vazão e as curvas de permanência de vazão nas sub-bacias das Unidades de Planejamento Hídrico (UPs).

O Capítulo 3 – Qualidade das águas superficiais – faz o diagnóstico da qualidade das águas dos 47 açudes com capacidade superior a 10 hm³ e de quatro pontos em trechos de leitos de rios perenizados da bacia do Rio Piranhas-Açu. Para tanto, utilizou-se os dados do monitoramento realizado pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.

Os parâmetros mais relevantes, tais como turbidez, pH, oxigênio dissolvido, DBO, coliformes totais, resíduos totais, nitrogênio total e fósforo total foram analisados individualmente, uma vez que oferecem subsídios ao enquadramento. A qualidade da água dos pontos também foi

descrita de maneira resumida através de índices que possuem a vantagem de facilitar a comunicação com o público leigo.

O Índice de Qualidade de Água (IQA) foi calculado com base nas variáveis turbidez, pH, oxigênio dissolvido, DBO, coliformes totais, resíduos totais, nitrogênio total e fósforo total (ANA, 2005). Já o Índice de Estado Trófico (IET) foi calculado de acordo com Lamparelli (2004), com base na variável fósforo total. Também foi avaliado o grau de contaminação da água por metais pesados, com base nas concentrações de cobre dissolvido e chumbo total e identificadas as fontes de poluição das águas da Bacia.

O Capítulo 4 - Disponibilidade hídrica subterrânea – traz a metodologia do trabalho, que consiste no levantamento bibliográfico do acervo técnico hidrogeológico pertinente à área de trabalho (mapas temáticos, relatórios técnicos, planos estaduais de recursos hídricos, monografias, dissertações e teses) e apresenta um cadastro de poços o mais completo possível, contendo dados e parâmetros hidrogeológicos e qualitativos, perfis técnico-construtivos e litológicos relacionados aos poços, facilitando a interpretação hidrogeológica.

Os dados dos poços constantes no cadastro são apresentados em forma de mapas de zoneamento temáticos de parâmetros previamente selecionados, a exemplo de profundidade de poços, nível estático e vazão dos poços tubulares.

A análise das disponibilidades das águas subterrâneas foi realizada com o auxílio das fórmulas clássicas existentes, praticadas para o contexto hidrogeológico, mostrando o volume hídrico captado pelos poços em operação e/ou aqueles capazes de operar. O cálculo das disponibilidades hídricas foi realizado de forma generalizada, em função da escala de trabalho, para os domínios hidrogeológicos tratados, contemplando a divisão em UPs.

O Capítulo 5 trata da Qualidade das águas subterrâneas, analisando os Sólidos Totais Dissolvidos – STD dos poços constantes no cadastro. O Capítulo 6 - Conclusões – realiza a integração dos capítulos anteriores e, finalmente, o Capítulo 7 traz as referências bibliográficas.

2. DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUPERFICIAIS

2. DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUPERFICIAIS

2.1. Introdução

O presente relatório descreve as atividades realizadas para estimativa das disponibilidades hídricas superficiais da bacia do Piranhas-Açu visando fundamentalmente, determinar as vazões regularizadas dos reservatórios da bacia, cuja capacidade excedesse 10 hm³.

A bacia do Piranhas-Açu pertence ao semiárido do Nordeste Brasileiro caracterizando-se pela intermitência natural dos rios e demais cursos d'água, cuja perenização somente é possível em trechos situados à jusante de reservatórios estratégicos com capacidade de regularização interanual de vazões.

A perenização principal do rio Piranhas-Açu é devida à vazão regularizada ofertada pelos dois maiores reservatórios estratégicos da bacia: o Curema-Mãe d'Água, na Paraíba, com volume máximo acumulável de 1,358 bilhões de metros cúbicos e vazão regularizada estimada em 10,53 m³/s (90% de garantia) e; pelo Armando Ribeiro Gonçalves (Açu), situado no Estado do Rio Grande do Norte, com volume de 2,4 bilhões de metros cúbicos, e vazão regularizada da ordem de 19,24 m³/s, de acordo com o Projeto de Integração de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional (MI, 2002).

A bacia do Piranhas-Açu possui uma área total de drenagem de 43.676,47 km², sendo 26.205,9 km² (60% da área da bacia) no Estado da Paraíba e 17.470,6 km² (40% da área da bacia) no Estado do Rio Grande do Norte.

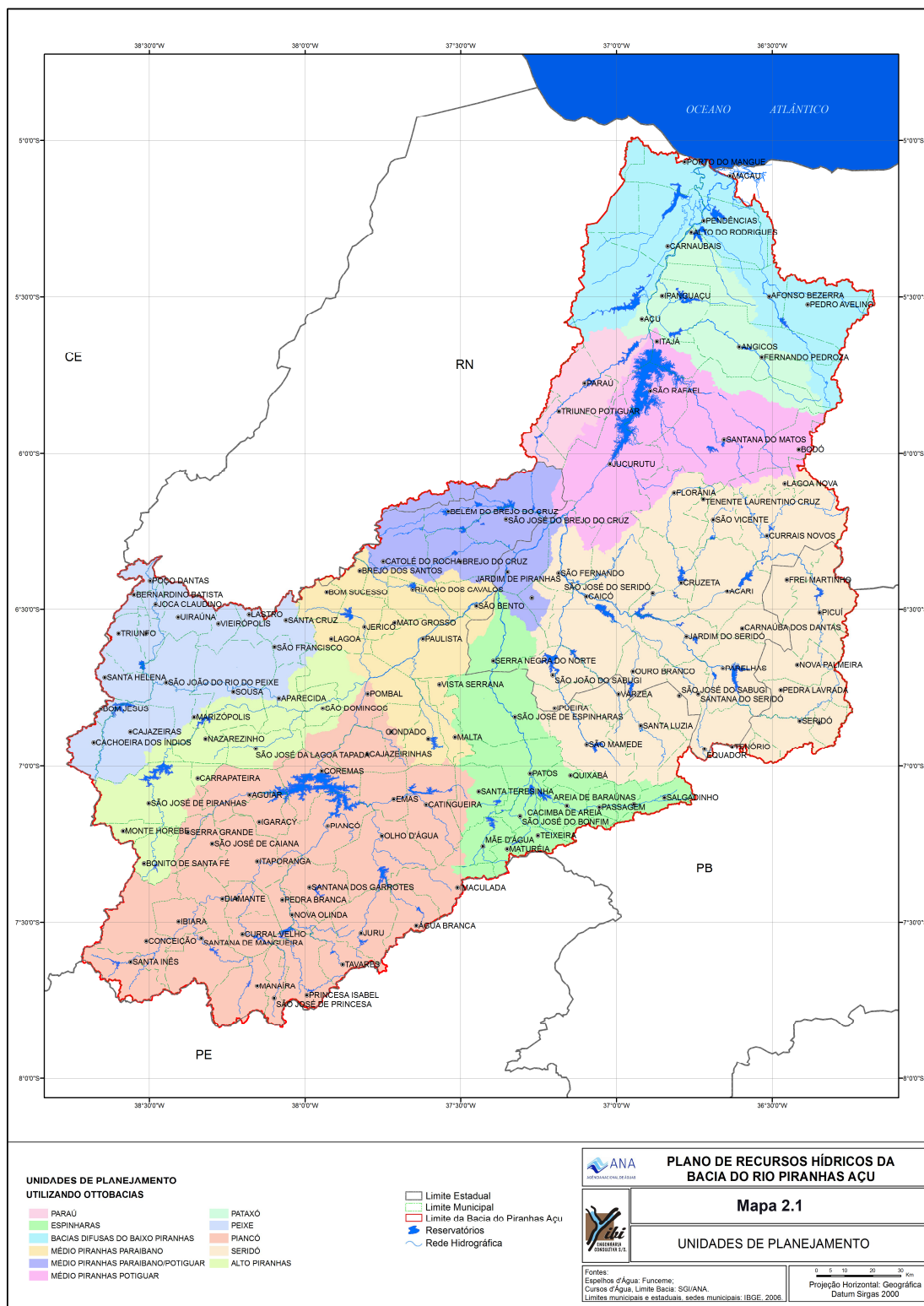
Devido à variabilidade espacial dos fatores hidrográficos, hidrológicos, geológicos, sociais, econômicos e culturais, os estados envolvidos pela bacia do Piranhas-Açu propuseram sua subdivisão em sub-bacias e unidades de planejamento, por ocasião da elaboração e revisão de seus Planos Estaduais de Recursos Hídricos (PERH's).

Assim, a Paraíba subdividiu a parte correspondente da bacia do Piranhas-Açu, em seu território, nas sub-bacias do rio do Peixe; rio Piancó; rio Espinharas e rio Seridó.

Por sua vez, o Estado do Rio Grande do Norte, por ocasião da revisão do PERH ora em elaboração definiu a subdivisão da bacia 02 – Piranhas-Açu, em seis Unidades de Planejamento (UP's), numeradas de 2-1 a 2-6.

O estudo atual propôs a subdivisão da bacia do Piranhas-Açu em onze sub-bacias ou Unidades de Planejamento: Bacias Difusas do Baixo Piranhas; Bacia do Pataxó; Bacia do Paraú; Bacia do Médio Piranhas-Potiguar; Bacia do Médio Piranhas Paraibano-Potiguar; Bacia do Seridó; Bacia do Médio Piranhas Paraibano; Bacia do Espinharas; Bacia do Alto Piranhas; Bacia do Peixe; e, Bacia do Piancó. O **Mapa 2.1** apresenta a subdivisão proposta no presente Plano.

Mapa 2.. Unidades de Planejamento da Bacia do Piranhas-Açu



Os estudos desenvolvidos para determinação da disponibilidade hídrica superficial constou das seguintes fases:

- Inventário da rede hidrológica;
- Estudos de Fluviometria;
- Estudos de Pluviometria;
- Geração de Deflúvio Superficial;
- Cálculo das Vazões Afluentes aos Reservatórios Estratégicos;
- Cálculo das Vazões Regularizadas dos Reservatórios.

A Bacia do Piranhas-Açu possui 51 reservatórios estratégicos cuja capacidade de acumulação se iguala ou supera 10 hm³. O volume total de água acumulável destes principais açudes é da ordem de 5.487,20 hm³. A **Tabela 2.1** apresenta o resumo dos açudes que serão objeto de estudo de vazões regularizadas.

Tabela 2.. Açudes com Capacidade Igual ou Superior a 10 hm³ na Bacia do Piranhas-Açu

Item	Código	Açude	Município	Estado	Volume máximo (hm ³)
1	PB-001	Curema Mãe d'Água	Coremas	PB	1358,00
2	PB-002	Engenheiro Ávidos	Cajazeiras	PB	255,00
3	PB-003	Saco	Nova Olinda	PB	97,50
4	PB-004	Lagoa do Arroz	Cajazeiras	PB	80,20
5	PB-005	Cachoeira dos Cegos	Catingueira	PB	71,90
6	PB-006	Jenipapeiro (Buiu)	Olho d'Água	PB	70,80
7	PB-007	Capoeira	Mãe d'Água	PB	53,50
8	PB-008	São Gonçalo	Sousa	PB	44,60
9	PB-009	Baião	São José do Brejo do Cruz	PB	39,20
10	PB-010	Bruscas	Cural velho	PB	38,20
11	PB-011	Condado	Conceição	PB	35,00
12	PB-012	Carneiro	Jericó	PB	31,30
13	PB-013	Engenheiro Arcoverde	Condado	PB	30,60
14	PB-014	Tapera	Belém do Brejo do Cruz	PB	26,40
15	PB-015	Santa Inês	Santa Inês	PB	26,10
16	PB-016	Farinha	Patos	PB	25,70
17	PB-017	Piranhas	Ibiara	PB	25,70
18	PB-018	Várzea Grande	Picuí	PB	21,50
19	PB-019	Riacho dos Cavalos	Riacho dos Cavalos	PB	17,70

“Continua...”

“Continuação...”

Item	Código	Açude	Município	Estado	Volume máximo (hm ³)
20	PB-020	Bartolomeu I	Bonito de Santa Fé	PB	17,60
21	PB-021	Jatobá I	Patos	PB	17,50
22	PB-022	Escondido	Belém do Brejo do Cruz	PB	16,30
23	PB-023	São Mamede	São Mamede	PB	15,80
24	PB-024	Queimadas	Santana dos Garrotes	PB	15,60
25	PB-025	Timbaúba	Juru	PB	15,40
26	PB-026	Bom Jesus II	Água Branca	PB	14,20
27	PB-027	Pilões	São João do Rio do Peixe	PB	13,00
28	PB-028	Santa Luzia	Santa Luzia	PB	12,00
29	PB-029	Serra Vermelha I	Conceição	PB	11,80
30	PB-030	Cachoeira dos Alves	Itaporanga	PB	10,60
31	PB-031	Catolé I	Manaíra	PB	10,50
32	PB-032	Canoas	Nova Olinda	PB	45,55
33	PB-033	Poço redondo	Santana de Mangueira	PB	62,75
34	PB-033	Santa Rosa	Belém do Brejo da Cruz	PB	16,58
35	PB-034	Vazante	Diamante	PB	9,09
36	RN-001	Engenheiro Armando Ribeiro Gonç	Assú	RN	2400,00
37	RN-002	Boqueirão de Parelhas	Parelhas	RN	85,00
38	RN-003	Itans	Caicó	RN	81,80
39	RN-004	Mendubim	Assú	RN	76,40
40	RN-005	Sabugi	São João do Sabugi	RN	65,30
41	RN-006	Passagem das Traíras	Jardim do Seridó	RN	48,90
42	RN-007	Marechal Dutra	Acari	RN	40,00
43	RN-008	Cruzeta	Cruzeta	RN	35,00
44	RN-009	Carnaíba	São João do Sabugi	RN	25,70
45	RN-010	Pataxó	Ipanguaçu	RN	24,40
46	RN-011	Esguincho	Ouro Branco	RN	21,60
47	RN-012	Boqueirão de Angicos	Angicos	RN	19,80
48	RN-013	Rio da Pedra	Santana do Mato	RN	12,40
49	RN-014	Beldroega	Paraú	RN	11,40
50	RN-015	Dourado	Currais Novos	RN	10,30
51	RN-016	Caldeirão de Parelhas	Parelhas	RN	10,00
				Total =	5.621,17

2.1. Inventário da rede hidrológica

Os estudos foram fundamentados em informações secundárias existentes na base de dados disponíveis no Sistema Hidroweb da Agência Nacional de Águas – ANA; nos órgãos estaduais de monitoramento e gestão dos recursos hídricos, tais como: a EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Norte; Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos SEMARH-RN; AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba; Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia da Paraíba; e, no banco de dados FAOCLIM da FAO-Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura.

Descreve-se a seguir as informações buscadas em cada uma destas instituições:

a) Agência Nacional de Águas - ANA

Os principais dados de fluviometria e pluviometria foram consultados no banco de dados da ANA, no sítio do sistema HIDROWEB, o qual armazena as séries históricas observadas pelas diversas instituições federais e estaduais que fazem o monitoramento hidrológico no território brasileiro. Os dados da ANA incluem séries coletadas por instituições federais ativas como o DNOCS e a CPRM e inclui algumas extintas como a SUDENE e o DNOS. O sistema HIDROWEB é considerado o maior e mais confiável banco de dados de informações hidrológicas atualmente disponível no Brasil;

b) Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN

A EMPARN é uma empresa pública do Governo do Estado do Rio Grande do Norte que tem por missão “gerar, adaptar e transferir conhecimentos e tecnologias para o agronegócio, visando o desenvolvimento sustentável do Estado”. A EMPARN desenvolve ações de pesquisa agropecuária, desenvolvimento rural e profissionalização rural para o agronegócio potiguar.

O setor de meteorologia da EMPARN teve início em 1992 fazendo o monitoramento das chuvas, dos açudes, do tempo e do clima no Estado. Opera uma rede de mais de 220 pluviômetros instalados nos municípios do Rio Grande do Norte. Além disso, opera Plataformas de Coleta de Dados para obtenção de inúmeras variáveis climatológicas nos municípios de Natal, Cruzeta, Ipanguaçu, Mossoró, Apodi, Areia Branca, Canguaretama, Pau dos Ferros, Parelhas e Martins. A EMPARN foi responsável por dar seqüência à continuidade do monitoramento hidrológico em mais de duas centenas de postos pluviométricos cujas medições haviam sido interrompidas pela extinção dos órgãos federais responsáveis pelo monitoramento, permitindo se construir séries históricas até os dias atuais (2012).

c) AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

A AESA foi criada pela Lei nº 7.779, de 07/07/2005, sob a forma jurídica de uma Autarquia, com autonomia administrativa e financeira, vinculada à Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos, do Meio Ambiente e da Ciência e Tecnologia - SERHMACT.

São objetivos da AESA, o gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais de domínio do Estado da Paraíba, de águas originárias de bacias hidrográficas localizadas em outros Estados que lhe sejam transferidas através de obras implantadas pelo Governo Federal

e, por delegação, na forma da Lei, de águas de domínio da União que ocorrem em território do Estado da Paraíba.

A AESA possui uma Gerência de Monitoramento e Hidrometria que realiza o monitoramento hidroclimático do Estado da Paraíba. Possui Estações Agrometeorológicas nos municípios de João Pessoa, Campina Grande, Sumé, Bananeiras e Cajazeiras.

d) Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO

A Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas – FAO disponibiliza desde 1995 um banco de dados agroclimático de amplitude mundial para dar sustentação ao desenvolvimento da agricultura no planeta. O banco de dados corresponde ao sistema FAOCLIM (v.2) do qual se obteve dados de evapotranspiração calculados pelo método Penman-Monteith para as estações climatológicas localizadas na bacia do Piranhas-Açu.

2.1.1. Dados de pluviometria

Foram identificados 217 postos pluviométricos na região de interesse para formação dos polígonos de Thiessen na bacia do Piranhas-Açu, incluindo os postos internos e externos à bacia. Entretanto, muitos deles estão apresentados em duplicata nos cadastros inventariados e outros estão ou com curtos períodos de observação ou mesmo sem ter qualquer registro pluviométrico.

Nesse contexto, cabe destacar que as séries mais longas, representadas por um pequeno número de postos, foram em sua maioria instalados no início do século passado, principalmente pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), cuja rede foi posteriormente reestruturada pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), com início em 1963, quando foi feita uma importante campanha de ampliação da rede hidrométrica na região. Segundo informações que constam no sítio da Internet da EMPARN, a empresa deu continuidade às medições em 220 postos pluviométricos no Estado do Rio Grande do Norte a partir de 1992 até os dias atuais. Não há mapa disponível com a localização destes postos pluviométricos que possam verificar a informação.

Apesar da quantidade de postos pluviométricos (217), destes, apenas 78 postos foram selecionados para composição do Mapa de Falhas que servirá de base para os estudos hidrológicos na bacia do Piranhas-Açu, sendo 35 postos pluviométricos no Estado da Paraíba e 43 no Estado do Rio Grande do Norte.

As Tabelas que apresentam o Mapa de Falhas dos postos pluviométricos a nível mensal estão apresentadas no **Anexo I**. Os totais anuais são também apresentados em cada mapa, ao final do ano. Estes totais anuais se referem apenas à soma das precipitações observadas em cada posto, sem considerar os valores oriundos do preenchimento de falhas que seria feito numa etapa posterior do estudo.

2.1.2. Dados de fluviometria

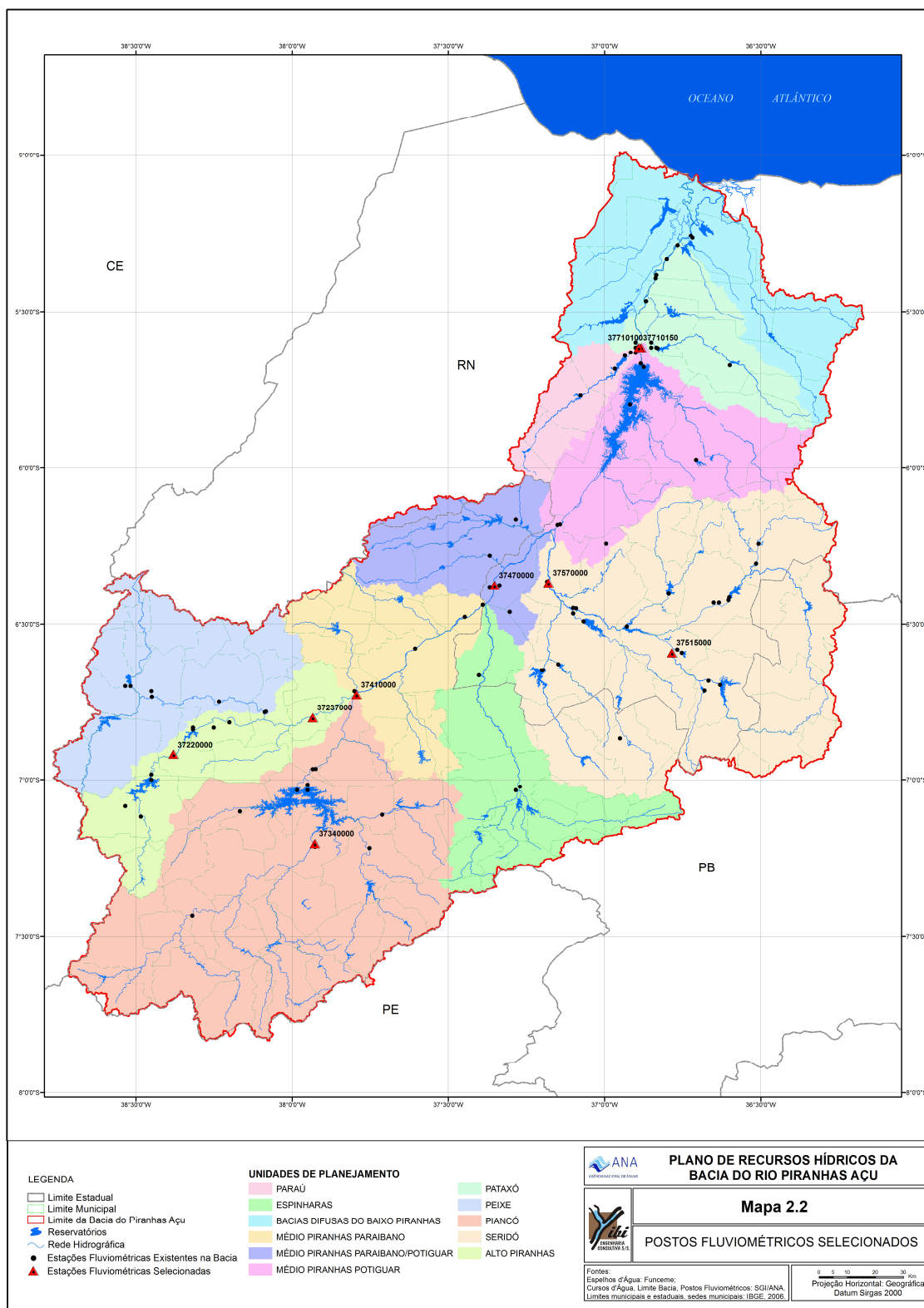
Foram inventariadas 112 estações fluviométricas na bacia do Piranhas-Açu. Entretanto, a grande maioria não apresenta dados de vazão observada ou apenas pouquíssimos anos de registro. A maior parte das estações corresponde apenas à instalação das régua de

monitoramento sem apresentar curvas-chave ou qualquer medição de vazão. O **Mapa 2.2** apresenta a localização daquelas estações.

Dentre as 112 estações fluviométricas inventariadas, apenas 14 apresentam dados de medição de cotas e vazão. Dentre estas 14, foram selecionadas apenas nove estações fluviométricas para realização dos estudos hidrológicos na bacia, considerando a questão das falhas de observação e qualidade da informação. O **Mapa 2.2** apresenta a localização de todas as estações fluviométricas com destaque às nove selecionadas.

Pode ser observado no **Mapa 2.2** que aparecem apenas oito estações ao invés de nove. Isto se deve à estação FLU Acauã II (37710150) corresponder, na escala da figura, praticamente à mesma localização da estação predecessora Acauã I (37710100). A estação Acauã I correspondeu ao boqueirão onde foi construída a barragem Armando Ribeiro Gonçalves no início da década de 80 do século XX. Após a construção da barragem, a estação foi transferida para a jusante da barragem, para monitorar os efluentes de sangria e vazão regularizada do açude, passando a ter a denominação de estação fluviométrica Acauã II. A **Figura 2.1** apresenta o Mapa de Falhas das nove estações fluviométricas selecionadas.

Mapa 2.. Postos Fluviométricos Existentes / Analisados / Utilizados



Estado	Código ANA	Nome da Estação FLU	Período de Dados de Vazões Observadas																																																								
			62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08										
Paraíba	37220000	Várzea Grande																																																									
Paraíba	37237000	São Domingos																																																									
Paraíba	37410000	Sítio Vassouras																																																									
Paraíba	37340000	Piancó																																																									
Rio Grande do Norte	37470000	Jardim de Piranhas																																																									
Rio Grande do Norte	37710100	Sítio Acauã																																																									
Rio Grande do Norte	37710150	Sítio Acauã II																																																									
Rio Grande do Norte	37570000	São Fernando																																																									
Rio Grande do Norte	37515000	Sítio Volta																																																									

Figura 2.. Mapa de Falhas das Estações Fluviométricas Seleccionadas na Bacia do Piranhas-Açu.

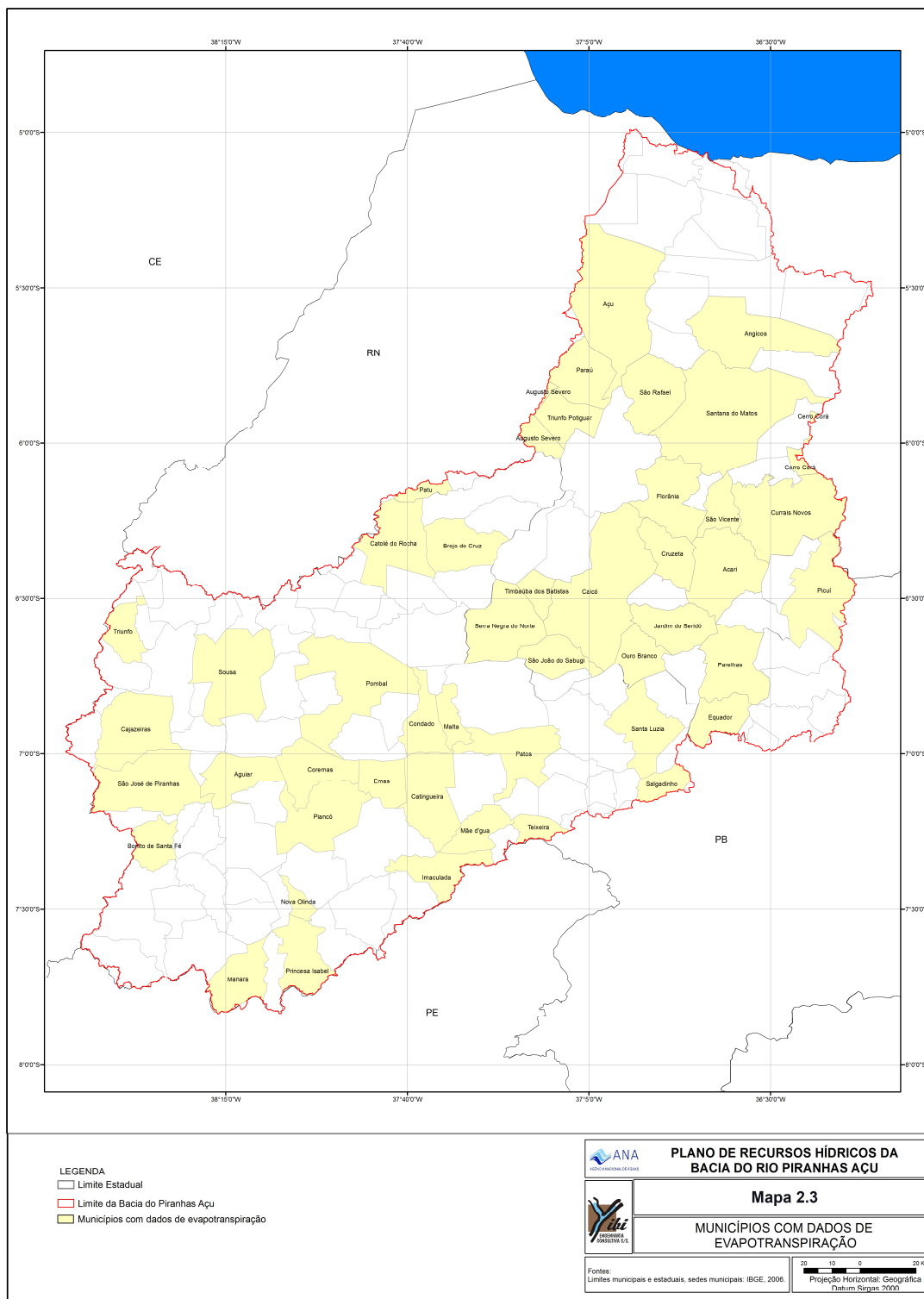
2.1.3. Dados de Evaporação e Evapotranspiração

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dispõe de poucas estações climatológicas na bacia do Piranhas-Açu. As estações se situam em Patos e São Gonçalo na Paraíba; e, Caicó, Macau, Florânia e Cruzeta, no Rio Grande do Norte.

Além disso, não há observação direta de evaporação nestas estações. As variáveis registradas nas estações do INMET são: Precipitação (mm); Temperatura Máxima (°C); Umidade Relativa (%); Velocidade do Vento (m/s); Temperatura de Bulbo Seco (°C); Temperatura Mínima (°C); Pressão Atmosférica ao Nível da Estação (mBar); Insolação (horas); Temperatura de Bulbo Úmido (°C); e, Direção do Vento. Com estas variáveis é possível a determinação da evapotranspiração potencial ou de referência por meio de fórmulas de cálculo tradicionais apresentadas na literatura.

A informação de evapotranspiração utilizada foi aquela oriunda do banco de dados FAOCLIM (FAO, 2012) que apresenta 53 municípios com cálculo de EVT pelo método de Penman-Monteith. O **Mapa 2.3** mostra os municípios que dispõe de cálculo de evapotranspiração com dados da base FAOCLIM na bacia do Piranhas-Açu.

Mapa 2.. Municípios da Bacia do Piranhas-Açu com Dados de Evapotranspiração na Base FAOCLIM.



Estudos da Pluviometria

2.1.4. Considerações Gerais

Os estudos de pluviometria foram desenvolvidos com base nas seguintes premissas:

- A base temporal de estudo das precipitações foi o mês, uma vez que o modelo chuva-vazão que seria empregado para simulação das vazões superficiais foi o SMAP-M (modelo mensal);
- Os processos de calibração, validação do modelo, e geração das vazões afluentes aos pontos de interesse (açudes), requer uma simultaneidade temporal dos dados de precipitação dos postos empregados no cálculo da precipitação média na bacia. Sendo assim, teria de ser buscada a parcimônia entre a extensão temporal das séries históricas de precipitação disponíveis e a localização geográfica dos postos nas bacias, para se garantir uma representatividade plausível da chuva média espacialmente distribuída sobre as bacias de interesse;
- Considerou-se que a melhor informação era o dado de precipitação observado. Dessa forma preferiu-se excluir da análise os postos pluviométricos que exigissem muito preenchimento de falhas e, além disso, foram minimizadas as correções aos dados observados no processo de análise de consistência das séries históricas, corrigindo-se apenas aquelas curvas que apresentavam períodos de desvio significativo em relação à média regional.

Analisando-se os 78 postos selecionados para composição do Mapa de Falhas no **Anexo I**, escolheu-se apenas 61 (**Tabela 2.2**), considerados com razoável qualidade e quantidade de dados de precipitação para empregar no presente estudo. Os critérios de seleção adotados foram: extensão das séries históricas, distribuição espacial dos postos pluviométricos nas bacias e minimização do preenchimento de falhas e da correção por consistência nos dados. Os 61 postos citados serviram de base para cálculo das precipitações médias mensais, por meio de polígonos de Thiessen para as bacias hidrográficas dos reservatórios.

Tabela 2.. Postos selecionados para a confecção dos polígonos de Thiessen dos reservatórios a serem simulados

Posto	Código	Posto	Código	Posto	Código
Açude Cruzeta	636001	Equador	636024	Palma	637016
Açude Gargalheiras	636007	Fazenda Timbaúba	738009	Paraú	537027
Açude Lagoinha	637010	Florânia (Flores)	636005	Parelhas	636018
Açude Mendubim	536029	Imaculada	737017	Patos	737009
Açude Pataxó	536023	Itaporanga	738017	Patu	637000
Água Branca	737022	Jardim de Piranhas	637019	Piancó	737006
Aguiar	738025	João Dias	637002	Pombal	637032
Alexandria	638037	Jucurutu	637011	Princesa Isabel	738013
Angicos	536024	Juru	737016	Salgadinho	736010
Arapuã	738024	Lagoa	637043	Santana dos Matos	536018
Barão de Serra Branca	536025	Lagoa Nova	636012	São Bento	637045
Belém do Brejo do Cruz	637022	Luis Gomes	638039	São Fernando	637017
Bom Jesus	738023	Mãe d'Água de Dentro	737015	São João do Sabugi	637014

Posto	Código	Posto	Código	Posto	Código
Bom Sucesso	637040	Malta	637031	São Mamede	637037
Bonito de Santa Fé	738022	Manaíra	738015	São Vicente (Luiza)	636010
Caicó	637004	Monsenhor Honório	536003	Serra Grande	738010
Cajazeirinhas	637024	Nazarezinho	638048	Serra Negra do Norte	637013
Catingueira	737021	Nova Olinda	738014	Souza	638036
Conceição	738020	Olho d'Água	737011	Teixeira	737002
Currais Novos	636025	Ouro Branco	636027	Zangarellhas	636014
Engenheiro Ávidos	638047				

O período em comum para todos os postos foi de janeiro de 1962 a dezembro de 2009, representando 48 anos de dados, praticamente meio século de dados. Tal período foi fixado em todas as análises de precipitação e geração de deflúvios superficiais na bacia do Piranhas-Açu, no presente estudo. Este período permite a maximização do número de postos pluviométricos com extensão razoável de dados observados em cada sub-bacia ou Unidade de Planejamento, garantindo uma boa distribuição espacial das precipitações para composição da chuva média em cada sub-bacia de interesse.

Se fosse usado um período com maior extensão de anos de dados observados, haveria uma redução significativa do número de postos pluviométricos em cada sub-bacia prejudicando a representativa espacial da chuva média sobre as respectivas sub-bacias. Dessa forma, buscou-se uma parcimônia entre a extensão das séries históricas de dados e a representatividade da distribuição espacial dos postos sobre as sub-bacias. A melhor forma foi adotar um período uniforme de análise de dados e cálculo das vazões regularizadas, entre 1962 e 2009.

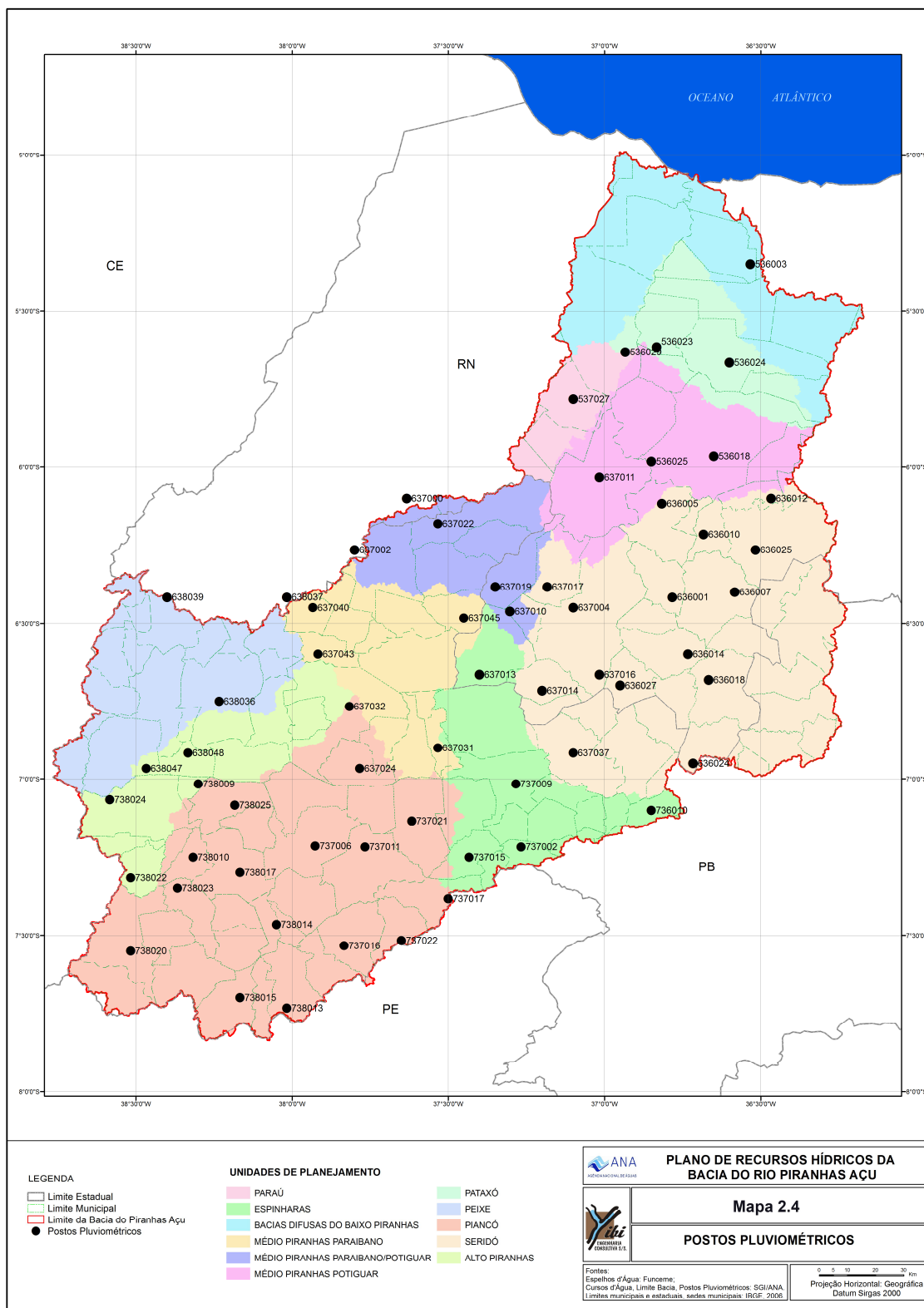
O **Mapa 2.4** mostra a distribuição espacial nos postos selecionados na bacia do Piranhas-Açu.

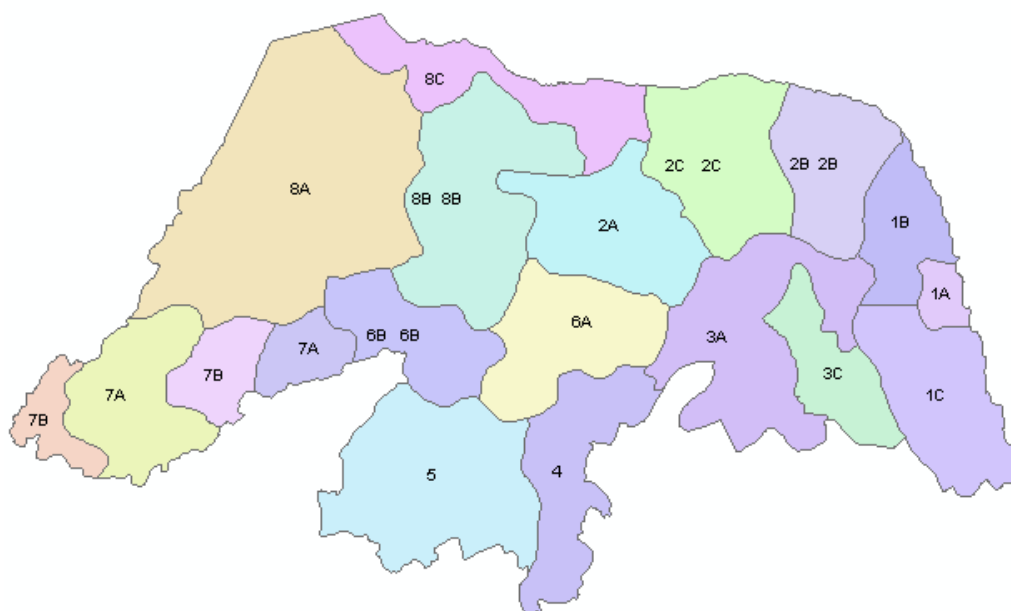
Para proceder ao preenchimento de falhas e as análises de consistência dos dados de precipitação, os 61 postos foram subdivididos em sete grupos (G1 a G7), cujos critérios de seleção são os que se seguem:

- A proximidade geográfica entre os postos que permitisse calcular uma média regional representativa da pluviosidade, mormente no caso dos postos situados nas altas bacias do Piranhas-Açu, em território Paraibano;
- Zoneamento hidrológico similar aos adotados nos planos estaduais de recursos hídricos, agrupando postos com totais de chuvas médias anuais semelhantes.

Ao agrupamento dos postos pluviométricos no território Potiguar que atentou para a conformação das Zonas Hidrológicas Homogêneas definidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte (PERH-RN, 1998), que pode ser vista na **Figura 2.2**.

Mapa 2.. Distribuição Espacial dos Postos Pluviométricos Seleccionados na Bacia do Piranhas-Açu.





Fonte: PERH-RN, 1998

Figura 2.. Zonas Hidrológicas Homogêneas do Estado do Rio Grande do Norte

As **Tabelas 2.3 a 2.9** mostram os sete grupos regionais formados e os dados estatísticos das séries históricas ao nível anual dos postos pluviométricos respectivos.

Tabela 2.. Postos Pluviométricos do Grupo 1 – G1

Posto Pluviométrico	Código (ANA)	Precipitação Média Anual (mm)	Desvio-Padrão da Precipitação Anual (mm)	Coefficiente de Variação (CV)
Conceição	738020	872,089	432,104	0,495
Manaíra	738015	684,927	270,286	0,394
Princesa Isabel	738013	831,571	309,012	0,371
Nova Olinda	738014	922,827	379,514	0,411
Juru	737016	803,615	259,198	0,322
Itaporanga	738017	911,442	351,224	0,385
Bom Jesus	738023	941,034	503,949	0,535
Piancó	737006	869,218	380,499	0,437
Bonito de Santa Fé	738022	896,561	388,981	0,433
Serra Grande	738010	762,7	268,669	0,352

Tabela 2.. Postos Pluviométricos do Grupo 2 – G2

Posto Pluviométrico	Código (ANA)	Precipitação Média Anual (mm)	Desvio-Padrão da Precipitação Anual (mm)	Coefficiente de Variação (CV)
Água Branca	737022	741,753	295,603	0,398
Imaculada	737017	673,975	265,872	0,394
Olho d'Água	737011	1152,656	712,081	0,617
Mãe d'Água de Dentro	737015	802,443	458,346	0,571
Teixeira	737002	606,7	401,698	0,662
Catingueira	737021	931,724	484,706	0,520
Malta	637031	848,916	279,757	0,329
Cajazeirinhas	637024	989,75	410,823	0,415
Pombal	637032	905,705	275,772	0,304

Tabela 2.. Postos Pluviométricos do Grupo 3 – G3

Posto Pluviométrico	Código (ANA)	Precipitação Média Anual (mm)	Desvio-Padrão da Precipitação Anual (mm)	Coefficiente de Variação (CV)
Arapuã	738024	822,878	262,358	0,318
Engenheiro Ávidos	638047	853,820	331,967	0,388
Nazarezinho	638048	958,48	223,479	0,233
Fazenda Timbaúba	738009	834,630	283,428	0,339
Aguiar	738025	887,482	353,712	0,398

Tabela 2.. Postos Pluviométricos do Grupo 4 – G4

Posto Pluviométrico	Código (ANA)	Precipitação Média Anual (mm)	Desvio-Padrão da Precipitação Anual (mm)	Coefficiente de Variação (CV)
Salgadinho	736010	436,940	250,635	0,573
Equador	636024	398,027	211,567	0,531
São Mamede	637037	678,470	206,648	0,304
São João do Sabugi	637014	631,930	288,270	0,456
Serra Negra do Norte	637013	724,382	303,881	0,419
Palma	637016	634,394	269,933	0,425
Ouro Branco	636027	555,341	264,961	0,477
Zangarelhas	636014	598,027	262,568	0,439
Açude Gargalheiras	636007	488,05	363,370	0,539
Currais Novos	636025	461,056	241,231	0,523
Açude Cruzeta	636001	513,467	283,415	0,551
Caicó	637004	807,922	323,894	0,400
São Fernando	637017	697,952	307,538	0,440
Jardim de Piranhas	637019	749,276	348,325	0,464
São Bento	637045	811,65	297,958	0,367

Posto Pluviométrico	Código (ANA)	Precipitação Média Anual (mm)	Desvio-Padrão da Precipitação Anual (mm)	Coefficiente de Variação (CV)
Açude Lagoinha	637010	690,610	284,480	0,411
Patos	737009	517,853	435,364	0,840
Parelhas	636018	567,026	253,537	0,447

Tabela 2.. Postos Pluviométricos do Grupo 5 – G5

Posto Pluviométrico	Código (ANA)	Precipitação Média Anual (mm)	Desvio-Padrão da Precipitação Anual (mm)	Coefficiente de Variação (CV)
Luis Gomes	638039	913,630	285,682	0,312
Souza	638036	881,981	249,642	0,283
Lagoa	637043	891,182	251,832	0,282
Bom Sucesso	637040	779,144	244,428	0,313
Alexandria	638037	793,454	324,095	0,408
João Dias	637002	932,220	369,235	0,396
Patu	637000	879,680	345,634	0,392
Belém do Brejo do Cruz	637022	755,211	272,703	0,361

Tabela 2.. Postos Pluviométricos do Grupo 6 – G6

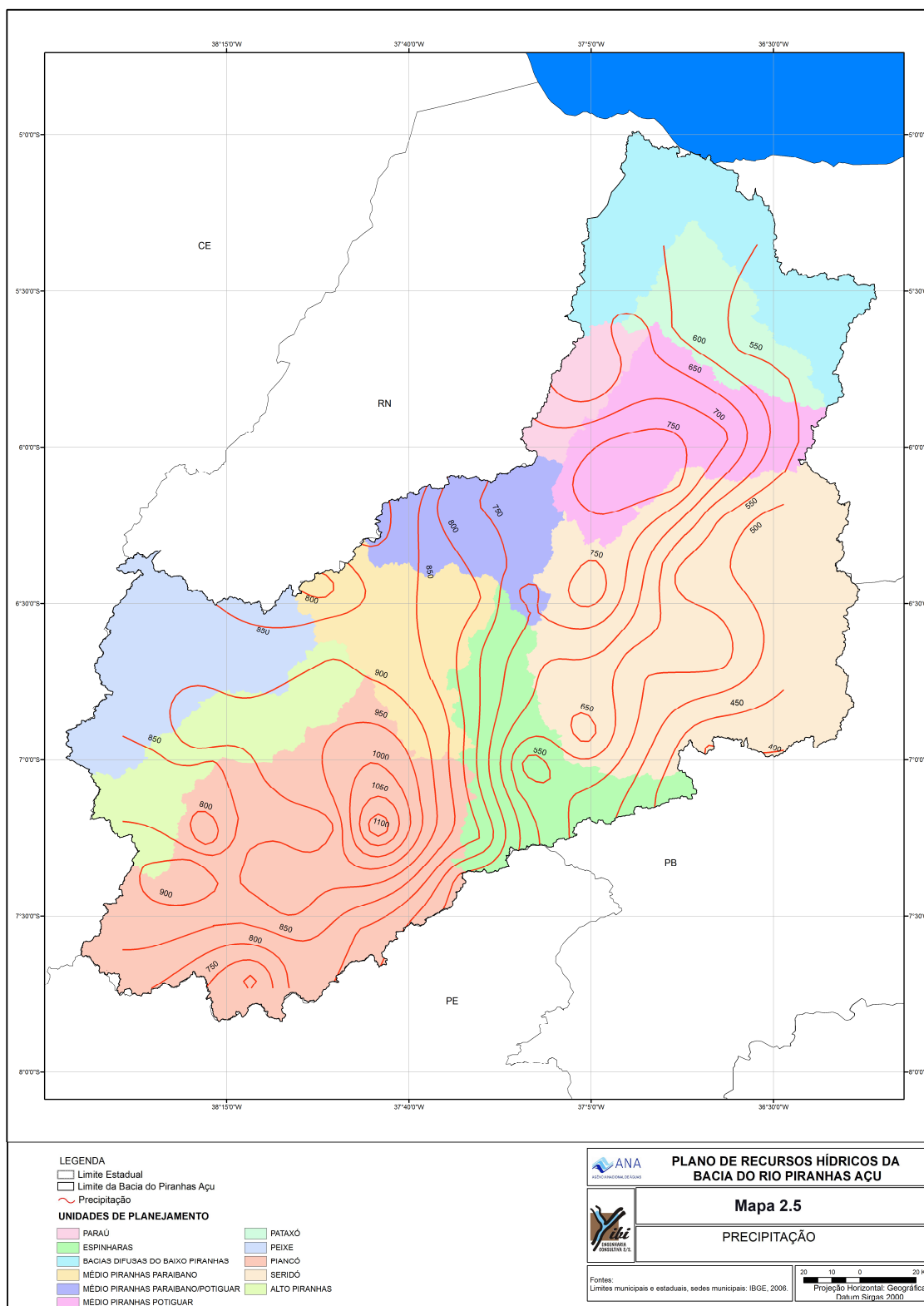
Posto Pluviométrico	Código (ANA)	Precipitação Média Anual (mm)	Desvio-Padrão da Precipitação Anual (mm)	Coefficiente de Variação (CV)
Lagoa Nova	636012	541,941	286,850	0,529
Santana dos Matos	536018	707,039	352,639	0,498
Florânia (Flores)	636005	767,795	274,895	0,358
São Vicente (Luiza)	636010	560,772	260,076	0,463
Jucurutu	637011	784,033	374,102	0,477
Barão de Serra Branca	536025	769,58	373,058	0,484

Tabela 2.. Postos Pluviométricos do Grupo 7 – G7

Posto Pluviométrico	Código (ANA)	Precipitação Média Anual (mm)	Desvio-Padrão da Precipitação Anual (mm)	Coefficiente de Variação (CV)
Paraú	537027	593,767	298,338	0,502
Açude Pataxó	536023	601,761	305,018	0,506
Açude Mendubim	536029	673,767	284,381	0,422
Angicos	536024	535,701	269,987	0,503
Monsenhor Honório	536003	548,005	305,654	0,557

O **Mapa 2.5** apresenta o Mapa de Isoietas dos postos selecionados com base na precipitação média anual indicada nas **Tabelas 2.3 a 2.9**.

Mapa 2.. Mapa de Isoietas



Preenchimento de Falhas

Os postos pluviométricos de interesse, tanto no estado do Rio Grande do Norte, quanto da Paraíba, apresentam normalmente não apenas o que se denomina comumente de falhas, porém, longas discontinuidades de observação às vezes com dezenas de meses em sequência, que pode ser observado nos Mapas de Falhas apresentados no **Anexo I**.

A grande maioria dos postos pluviométricos requer o preenchimento de até 20% ou mais dos anos compreendidos entre 1962 e 2009, período selecionado para servir de base para as análises e cálculos.

Não há um padrão uniforme de distribuição das falhas, as quais se apresentam randomicamente distribuídas, exceto durante o período de 1992 a 1993, que é caracterizado por certa uniformidade entre os postos pluviométricos no que concerne à ausência de registros de dados.

Este fato tornou inviável o emprego de algoritmos automáticos para preenchimento das falhas, tais como modelos de regressão hidrológica, de forma que o preenchimento foi manual e customizado para cada posto pluviométrico.

O preenchimento de falhas manual levou em consideração os dados de precipitação dos postos pluviométricos mais próximos do posto em questão, dependendo da quantidade de postos e dos dados de chuva disponíveis, considerou-se entre dois a quatro postos pluviométricos mais próximos, ao invés de uma regressão regional.

O preenchimento de uma falha no valor da precipitação mensal para um determinado posto pluviométrico x , foi feito com base na ponderação entre as médias anuais dos postos vizinhos ao posto de interesse, normalmente se adotando dois, três ou quatro postos mais próximos com dado observado de precipitação mensal.

A equação para o caso de três postos próximos foi:

$$P_x = \frac{1}{3} \left(\frac{N_x}{N_A} \cdot P_A + \frac{N_x}{N_B} \cdot P_B + \frac{N_x}{N_C} \cdot P_C \right) \quad Eq-1$$

Onde:

N_A = precipitação média anual do posto A

N_B = precipitação média anual do posto B

N_C = precipitação média anual do posto C

N_x = precipitação média anual do posto X

e, P_A, P_B, P_C, P_X , as precipitações mensais respectivas dos postos A, B, C e X.

Em alguns casos houve um período, por exemplo, entre jan/92 e out/92, que nenhum dos postos próximos regionalizados possuía dados de precipitações observadas. Nesses casos, importou-se a média regional dos postos mais próximos como forma alternativa de preenchimento. Estes casos foram uma exceção da regra.

2.1.4.1. Análise de Consistência dos Postos Pluviométricos

O grau de homogeneidade dos dados de pluviometria, após o preenchimento, foi feito pelo emprego do método das Curvas de Duplas Massas, desenvolvido pelo US Geological Survey. Para cada um dos sete grupos regionais plotou-se os valores acumulados das precipitações mensais nas ordenadas e a média regional nas abscissas. As **Figuras 2.3 a 2.9** mostram as curvas de duplas massas resultantes para os grupos G1 a G7 anteriormente definidos.

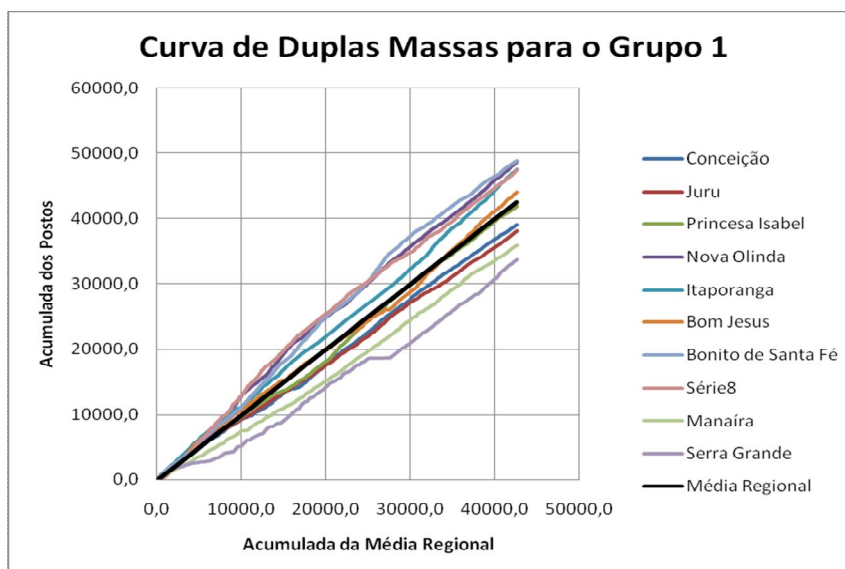


Figura 2.. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 1.

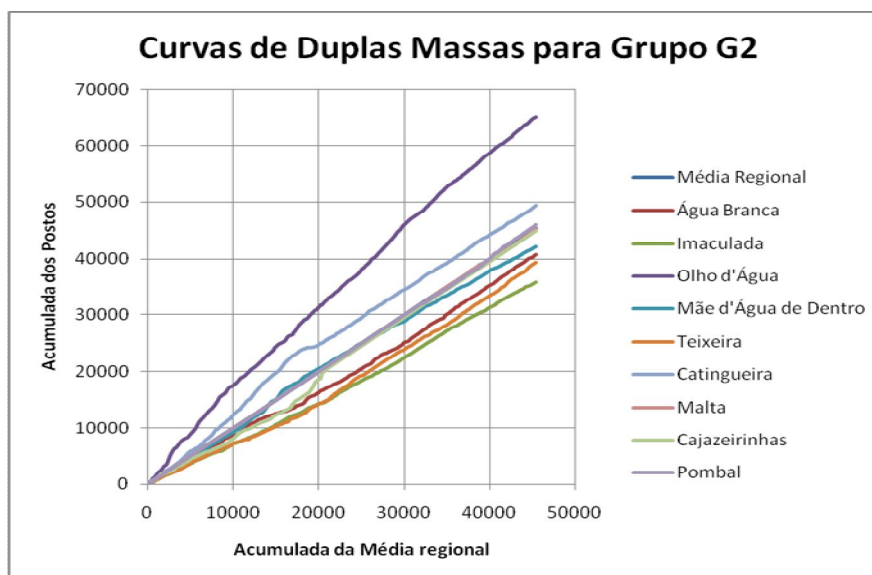


Figura 2.. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 2.

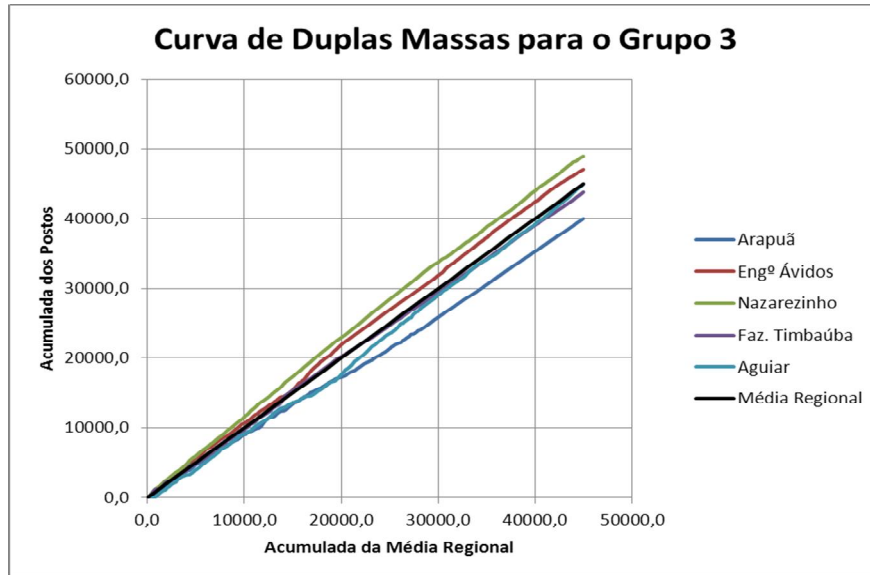


Figura 2.. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 3

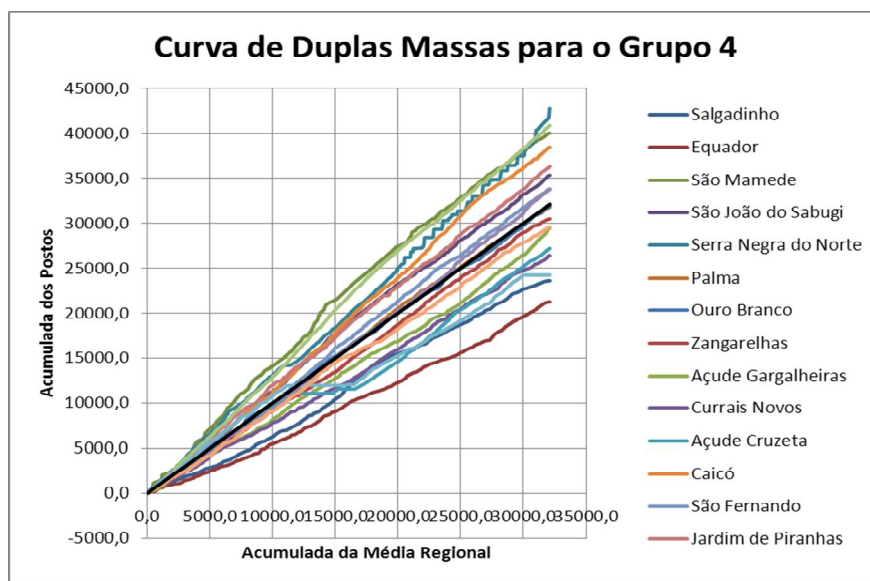


Figura 2.. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 4

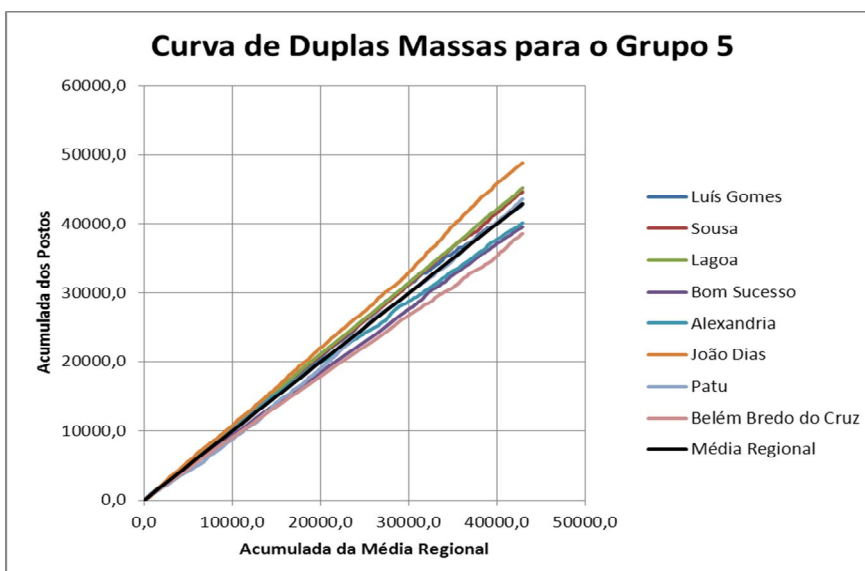


Figura 2.. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 5

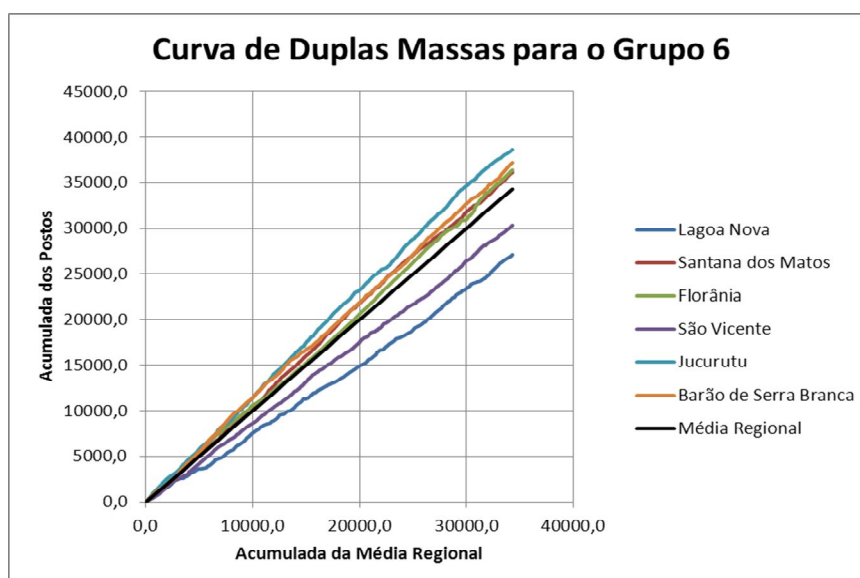


Figura 2.. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 6

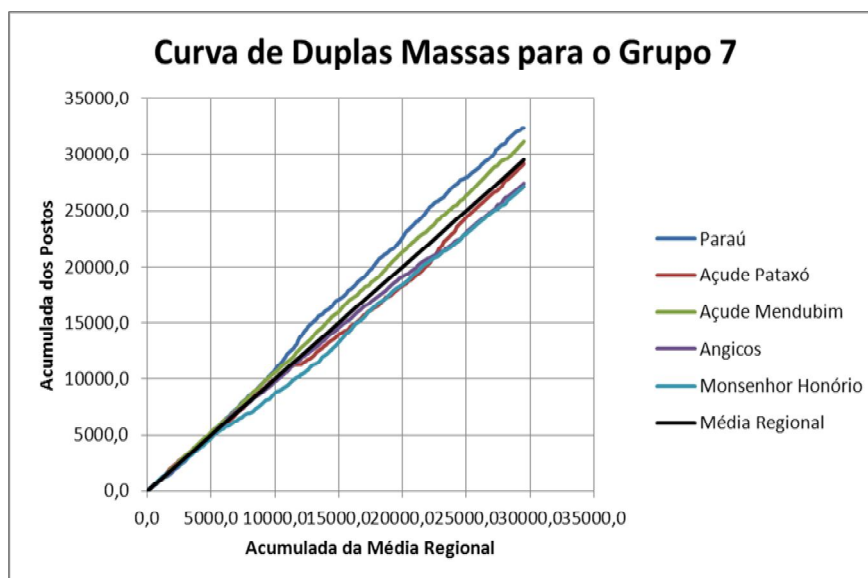


Figura 2.. Curva de Duplas Massas dos Postos Pluviométricos do Grupo 7

Conforme as premissas citadas no preâmbulo do capítulo, somente foram corrigidas as curvas que apresentavam significativa mudança de declividade em relação à média regional e aos demais postos. O objetivo foi preservar ao máximo possível os dados originais de precipitação mensal, partindo do princípio de que o melhor dado que existe é aquele que foi observado (McCUN, 1996). Na verdade, como a maioria dos postos pluviométricos sofreram significativa percentagem de preenchimento de falhas, houve uma atenuação dos desvios pela dispersão dos dados preenchidos entre os dados de chuva observados, fazendo com que a maioria dos postos apresentasse curvas de duplas massas sem grandes quebras de declividade em relação à acumulada da média regional.

O critério empregado de correção dos dados foi adotar a declividade mais atual da curva, ou seja, os dados dos períodos passados foram ajustados para a tendência mais atual mostrada pelas curvas de duplas massas. Considera-se que, atualmente, há uma tendência de melhor gestão da informação hidrológica pelos órgãos de monitoramento, estaduais e federais, das precipitações e das vazões, do que havia no passado.

2.2. Estudos de Fluviometria

Os estudos de fluviometria constaram de:

- Análise de regionalização das vazões observadas nas estações fluviométricas;
- Extensão das séries históricas por modelo chuva-vazão.

Estes estudos permitiram consolidar a base das informações hidrológicas necessárias para avaliação das vazões regularizadas dos reservatórios estratégicos da bacia do Piranhas-Açu.

2.2.1. Estações Fluviométricas Principais da Bacia do Piranhas-Açu

A bacia do Piranhas-Açu apresenta nove estações fluviométricas com dados de vazões observadas com potencial interesse estratégico na modelagem hidrológica da bacia. Entretanto, analisando-se a representatividade espacial, o mapa de falhas, e as áreas de drenagem das estações, as nove estações reduzem-se a apenas sete para consecução das

modelagens. As cinco primeiras estão localizadas em sequência ao longo do talvegue principal do rio Piranhas-Açu, enquanto a sexta e sétima estações estão localizadas nos seus afluentes principais, os rios Piancó e Seridó.

O **Mapa 2.2** já apresentado mostra a localização das sete principais estações consideradas.

- Em sequência no rio Piranhas:
 - Várzea Grande (37220000), área de drenagem de 1110 km²;
 - Sítio Vassouras (37410000), áreas de drenagem de 15.200 km²;
 - Jardim de Piranhas (37470000), área de drenagem de 21.600 km²;
 - Sítio Acauã I (37710100), área de drenagem de 38.100 km², que foi operada entre 1973 e 1979, antes da construção da barragem Armando Ribeiro Gonçalves, e depois foi substituída pela estação Sítio Acauã II (37710150), após a construção da barragem.
- No rio Seridó:
 - Sítio Volta (37515000), área de drenagem de 1.860 km²;
 - São Fernando (37570000), área de drenagem de 9.710 km².
- No rio Piancó:
 - Piancó (37340000), área de drenagem de 4.560 km²;

Apresenta-se a seguir, as fichas técnicas das estações fluviométricas e dados preliminares do estudo de regionalização hidrológica da bacia.

- Estação Fluviométrica Várzea Grande (37720000)

A **Tabela 2.10** apresenta a Ficha Técnica da estação.

Tabela 2.. Ficha Técnica da Estação Várzea Grande (ANA, 2012)

Código	37220000
Nome	VÁRZEA GRANDE
Código Adicional	-
Bacia	ATLÂNTICO, TRECHO NORTE/NORDESTE (3)
Sub-bacia	RIOS APODI, PIRANHAS E OUTROS (37)
Rio	RIO PIRANHAS - AÇÚ
Estado	PARAÍBA
Município	SÃO JOÃO DO RIO DO PEIXE
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-6:55:9
Longitude	-38:22:51
Altitude (m)	265
Área de Drenagem (km ²)	1110

A **Figura 2.10** mostra uma avaliação preliminar da curva de permanência para as vazões observadas na estação Várzea Grande entre 1962 a 1976 e de 1984 a 2008. Nesta análise foi empregado o programa Regionalização Hidrológica v4.0 do Programa Hidrotec, elaborado na Universidade Federal de Viçosa-MG (EUCLIDES, H.P., 1999).

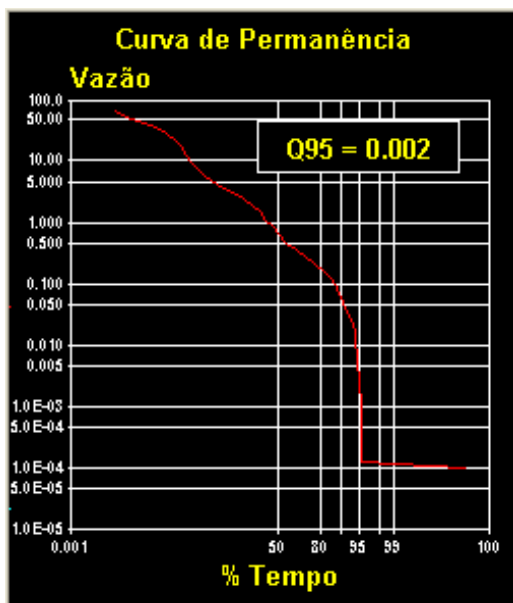


Figura 2.. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica Várzea Grande (37220000).

Pode ser observada que, numa análise preliminar, a vazão natural com 95% de garantia na estação, segundo a curva de permanência é de 0,002 m³/s, ou seja, vazão nula de fato, como seria de esperar para a alta bacia do Piranhas-Açu, localizada no semiárido nordestino.

– Estação Fluviométrica Piancó (37340000)

A **Tabela 2.11** apresenta a Ficha Técnica da estação.

Tabela 2.. Ficha Técnica da Estação Piancó (ANA, 2012)

Código	37340000
Nome	PIANCÓ
Código Adicional	-
Bacia	ATLÂNTICO, TRECHO NORTE/NORDESTE (3)
Sub-bacia	RIOS APODI, PIRANHAS E OUTROS (37)
Rio	RIO PIANCÓ
Estado	PARAÍBA
Município	PIANCÓ
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-7:12:16
Longitude	-37:55:41
Altitude (m)	249
Área de Drenagem (km ²)	4560

A **Figura 2.11** mostra uma avaliação preliminar da curva de permanência para as vazões observadas na estação Piancó, entre 1963 e 2006.

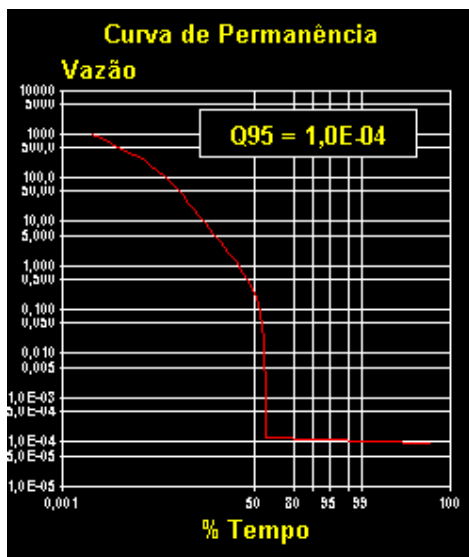


Figura 2.. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica Piancó (37340000).

Pode ser observada que, numa análise preliminar, a vazão natural com 95% de garantia na estação segundo a curva de permanência é de 0,0001 m³/s, ou seja, vazão nula de fato, como seria de esperar para a alta bacia do Piancó, localizada no semiárido nordestino.

- Estação Fluviométrica Sítio Vassouras (37410000)

A **Tabela 2.12** apresenta a Ficha Técnica da estação.

Tabela 2.. Ficha Técnica da Estação Sítio Vassouras (ANA, 2012)

Código	37410000
Nome	SÍTIO VASSOURAS
Código Adicional	ANA
Bacia	ATLÂNTICO, TRECHO NORTE/NORDESTE (3)
Sub-bacia	RIOS APODI, PIRANHAS E OUTROS (37)
Rio	RIO PIRANHAS - AÇÚ
Estado	PARAÍBA
Município	POMBAL
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-6:43:43
Longitude	-37:47:40
Altitude (m)	175
Área de Drenagem (km ²)	15200

A **Figura 2.12** mostra uma avaliação preliminar da curva de permanência para as vazões observadas na estação Sítio Vassouras entre 1962 e 2008. Nesta análise também foi empregado o programa Regionalização Hidrológica v4.0 do Programa Hidrotec, elaborado na Universidade Federal de Viçosa-MG (EUCLIDES, H.P., 1999).

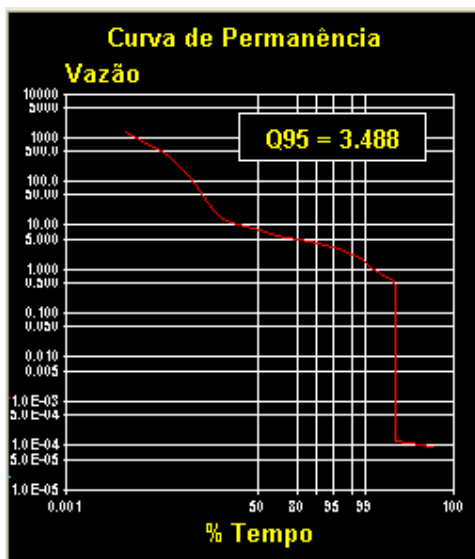


Figura 2.. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica Sítio Vassouras (37410000).

A curva de permanência apresenta uma vazão de 3,488 m³/s, para uma garantia de 95% na estação, certamente que não se trata de vazão natural apenas, e sim, de vazão originária da regularização proporcionada pelos reservatórios de montante, notadamente os reservatórios Coremas- Mãe d' Água e Engenheiros Ávidos, afora os demais açudes a montante.

– Estação Fluviométrica Jardim de Piranhas (37470000)

A **Tabela 2.13** apresenta a Ficha Técnica da estação.

Tabela 2.. Ficha Técnica da Estação Jardim de Piranhas (ANA, 2012)

Código	37470000
Nome	JARDIM DE PIRANHAS
Código Adicional	ANA
Bacia	ATLÂNTICO, TRECHO NORTE/NORDESTE (3)
Sub-bacia	RIOS APODI, PIRANHAS E OUTROS (37)
Rio	RIO PIRANHAS - AÇÚ
Estado	RIO GRANDE DO NORTE
Município	JARDIM DE PIRANHAS
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-6:22:41
Longitude	-37:21:9
Altitude (m)	115
Área de Drenagem (km ²)	21600

A **Figura 2.13** mostra uma avaliação preliminar da curva de permanência para as vazões observadas na estação Jardim de Piranhas entre 1962 e 2008.

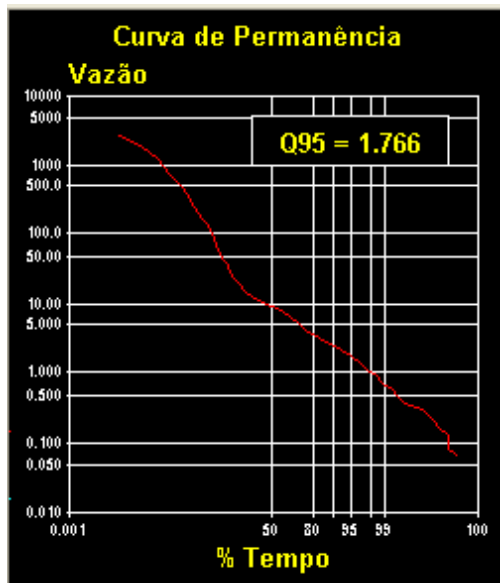


Figura 2.. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica Jardim de Piranhas (37470000).

Pode ser observada no gráfico da **Figura 2.13**, que a vazão de permanência para 95% do tempo cai para 1,766 m³/s nesta estação. A demanda hídrica ao longo do rio Piranhas e, as perdas em trânsito, já afetam as vazões regularizadas pelos açudes de montante neste trecho, proporcionando uma redução na vazão de longo termo do rio Piranhas-Açu na estação Jardim de Piranhas.

- Estação Fluviométrica Sítio Acauã I (37710100)

A **Tabela 2.14** apresenta a Ficha Técnica da estação.

Tabela 2.. Ficha Técnica da Estação Sítio Acauã I (ANA, 2012)

Código	37710100
Nome	SÍTIO ACAUA
Código Adicional	-
Bacia	ATLÂNTICO,TRECHO NORTE/NORDESTE (3)
Sub-bacia	RIOS APODI,PIRANHAS E OUTROS (37)
Rio	RIO PIRANHAS - AÇÚ
Estado	RIO GRANDE DO NORTE
Município	AÇU
Responsável	ANA
Operadora	ANA
Latitude	-5:37:0
Longitude	-36:53:0
Altitude (m)	65
Área de Drenagem (km ²)	38100

A **Figura 2.14** mostra uma avaliação preliminar da curva de permanência para as vazões observadas na estação Sítio Acauã I, entre 1973 e 1979, no período anterior à construção do açude Armando Ribeiro Gonçalves.

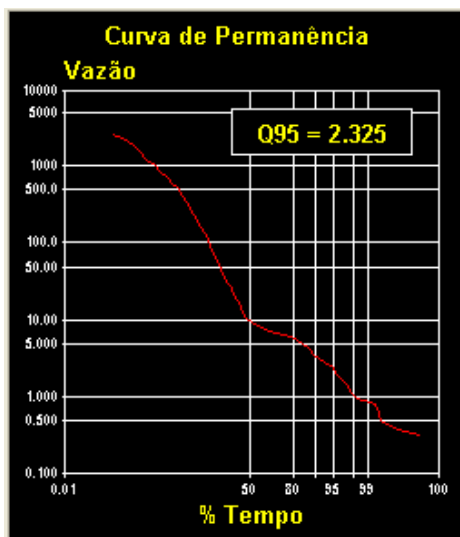


Figura 2.. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluiométrica Sítio Acauã I (3710100).

A vazão da curva de permanência da estação anteriormente à construção da barragem Armando Ribeiro Gonçalves era de 2,325 m³/s para uma garantia de 95%.

- Estação Fluiométrica Sítio Acauã II (37710150)

A **Tabela 2.15** apresenta a Ficha Técnica da estação.

Tabela 2.. Ficha Técnica da Estação Sítio Acauã II (ANA, 2012)

Código	37710150
Nome	SITIO ACAUA II
Código Adicional	ANA
Bacia	ATLÂNTICO, TRECHO NORTE/NORDESTE (3)
Sub-bacia	RIOS APODI, PIRANHAS E OUTROS (37)
Rio	RIO PIRANHAS - AÇÚ
Estado	RIO GRANDE DO NORTE
Município	AÇU
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-5:36:59
Longitude	-36:53:28
Altitude (m)	65
Área de Drenagem (km ²)	38100

Pode ser observado, nas fichas técnicas das **Tabelas 2.13 e 2.15**, que a área de drenagem da estação permaneceu a mesma, pois foi alterado apenas o local da estação fluiométrica Sítio

Acauã, localizando-se agora a jusante do açude Armando Ribeiro Gonçalves, passando a se chamar Sítio Acauã II.

A **Figura 2.15** mostra a nova curva de permanência para as vazões observadas na estação Sítio Acauã II, entre 1985 e 2008, no período posterior à construção do açude Armando Ribeiro Gonçalves.

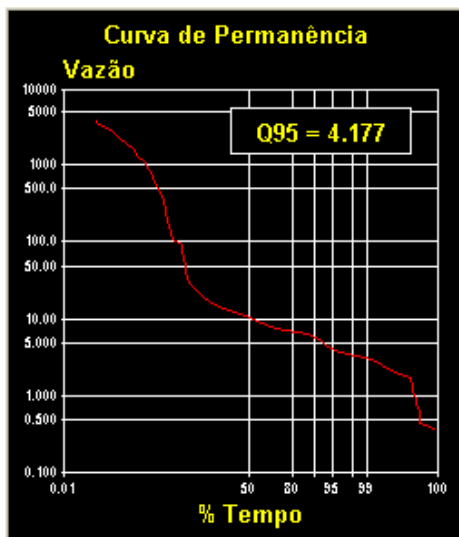


Figura 2.. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica Sítio Acauã II (3710150).

Comparando-se as curvas de permanência entre as **Figuras 2.14 e 2.15**, pode se observar o incremento de vazão proporcionada pela liberação controlada do açude Armando Ribeiro Gonçalves, passando de 2,325 m³/s, sem o açude, para 4,117 m³/s, com o açude.

– Estação Fluviométrica Sítio Volta (37515000)

A **Tabela 2.16** apresenta a Ficha Técnica da estação.

Tabela 2.. Ficha Técnica da Estação Sítio Volta (ANA, 2012)

Código	37515000
Nome	SÍTIO VOLTA
Código Adicional	ANA
Bacia	ATLÂNTICO, TRECHO NORTE/NORDESTE (3)
Sub-bacia	RIOS APODI, PIRANHAS E OUTROS (37)
Rio	RIO SERIDÓ
Estado	RIO GRANDE DO NORTE
Município	JARDIM DO SERIDÓ
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-6:35:37
Longitude	-36:47:06
Altitude (m)	220
Área de Drenagem (km ²)	1860

A **Figura 2.16** mostra a curva de permanência para as vazões observadas na estação Sítio Volta, entre 1979 e 2008.

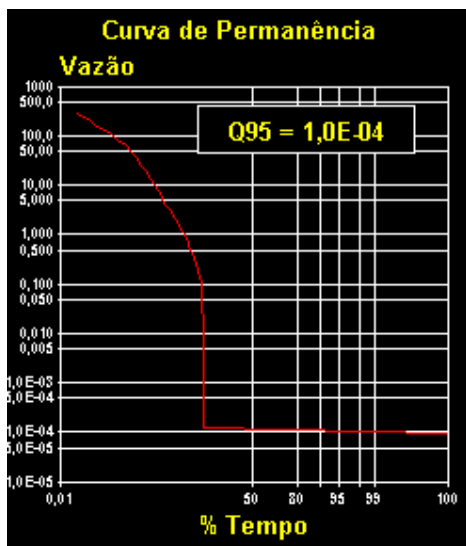


Figura 2.. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluiométrica Sítio Volta (37515000).

Pode ser observado que a vazão da curva de permanência para 95% do tempo é 0,0001 m³/s, ou seja, vazão praticamente nula.

- Estação Fluiométrica São Fernando (37570000)

A **Tabela 2.17** apresenta a Ficha Técnica da estação.

Tabela 2.. Ficha Técnica da Estação São Fernando (ANA, 2012)

Código	37570000
Nome	SÃO FERNANDO
Código Adicional	ANA
Bacia	ATLÂNTICO,TRECHO NORTE/NORDESTE (3)
Sub-bacia	RIOS APODI,PIRANHAS E OUTROS (37)
Rio	RIO SERIDÓ
Estado	RIO GRANDE DO NORTE
Município	SÃO FERNANDO
Responsável	ANA
Operadora	CPRM
Latitude	-6:22:13
Longitude	-37:10:49
Altitude (m)	135
Área de Drenagem (km2)	9710

A **Figura 2.17** mostra a curva de permanência para as vazões observadas na estação São Fernando, entre 1963 e 2001.

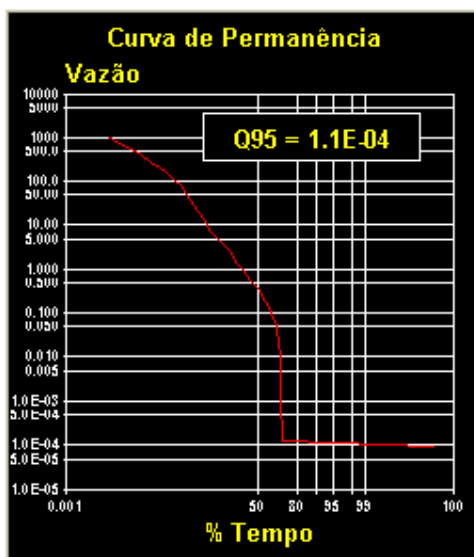


Figura 2.. Curva de Permanência das Vazões Observadas na Estação Fluviométrica São Fernando (37570000).

Pode ser observado que a vazão da curva de permanência para 95% do tempo é 0,00011 m³/s, ou seja, vazão praticamente nula. Este fato demonstra que o sistema de reservatórios no rio Seridó, a montante de São Fernando, representados pelos açudes próximos como Itans, Sabugi, Mundo Novo, Passagem das Traíras, etc., não produz uma regularização suficiente para o rio Seridó no trecho onde se localiza o posto fluviométrico São Fernando.

A estação fluviométrica de São Fernando está a apenas 18 km a jusante do açude Itans, e 33 km a jusante do açude Sabugi.

O Mapa de Falhas apresentado no **Anexo I** mostra que há um período comum de observações simultâneas de vazões na sequência das estações fluviométricas no rio Piranhas-Açu, entre os anos de 1973 a 1976, para as estações de Várzea Grande, Sítio Vassouras, Jardim de Piranhas e Sítio Acauá I, respectivamente.

2.2.2. Métodos de Extensão de Séries por Modelo Chuva-Vazão

O estudo das disponibilidades hídricas superficiais naturais das bacias corresponde a uma das etapas mais importantes dos estudos hidrológicos relativos à planos de recursos hídricos, porque envolve um dos principais componentes do ciclo hidrológico, que é a ocorrência e o transporte de água sobre a superfície terrestre, a qual será mobilizada para atendimento das demandas hídricas e subsidiará o processo de planejamento do uso dos recursos hídricos na bacia.

A avaliação das disponibilidades hídricas superficiais naturais é comumente calculada com base no emprego de métodos diretos e métodos indiretos, conforme a disponibilidade espacial de estações fluviométricas nas bacias e a qualidade das séries temporais de dados observados. Apresenta-se a seguir uma breve discussão dos métodos de cálculo supracitados.

2.2.2.1. Métodos Diretos

Os Métodos Diretos são considerados os mais confiáveis quando a distribuição espacial dos postos ou estações fluviométricas na bacia é satisfatória e quando a série histórica é extensa e de boa qualidade. Por essa metodologia são preservadas as peculiaridades hidrológicas intrínsecas das bacias, tais como a natureza do complexo solo-vegetação, o uso e a ocupação do solo, o armazenamento difuso em pequenos reservatórios, etc. A desvantagem é que a acuidade do cálculo da vazão específica da bacia fica condicionada e limitada à amplitude do histórico de vazões disponíveis, incluindo a qualidade dos seus dados observados.

Os Métodos Diretos consistem na determinação de vazões específicas médias calculadas com base em parâmetros estatísticos (médias) de vazões diretas observadas nas estações fluviométricas localizados dentro da própria bacia e que deveriam, a princípio, satisfazer às seguintes condições:

- A estação ou posto fluviométrico deve ser de preferência localizado no exutório ou próximo ao exutório da bacia de interesse e corresponder a uma área não controlada por grandes reservatórios localizados a montante do referido posto;
- Possuir um histórico de vazões diretas observadas de no mínimo 25 anos de forma que se possa fazer um ajuste de distribuição de frequência confiável. A média amostral dos dados observados deve poder ser inferida probabilisticamente como representativa da média da população dos dados (Mc MAHON, 1986, p.9). Segundo o autor, a extensão mínima da série deve obedecer à equação:

$$N_{\min} = \left(\frac{C_V}{E_M} \right)^2$$

onde:

N_{\min} = extensão mínima dos dados observados;

C_V = coeficiente de variação das vazões anuais observadas;

E_M = erro padrão da vazão média anual observada, dado por:

$$E_M = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

onde:

s = desvio-padrão dos dados observados;

n = número de valores dos dados observados;

A série histórica deve gozar das propriedades de homogeneidade, consistência, estacionariedade e representatividade. Uma série histórica é dita homogênea se qualquer amostra retirada de qualquer período da série pertencer à mesma população ou distribuição de frequência estatística. É dita consistente se é eximida de erros sistemáticos de medição. É dita estacionária se a série temporal de dados existente probabilisticamente não varia com o tempo. Por fim, é dita representativa se os dados observados não foram medidos

exclusivamente em períodos úmidos ou secos e representam efetivamente a variabilidade dos fluxos na estação medida;

A construção de grandes reservatórios estratégicos a montante da estação fluviométrica pode afetar a extensão da série histórica de dados observados. Convém analisar o histograma de vazões médias anuais observadas, a fim de verificar se a construção desses reservatórios implicou numa alteração acentuada da vazão média anual observada na estação de interesse;

A vazão específica global de uma determinada bacia hidrográfica deve ser calculada com base numa ponderação das vazões específicas das estações fluviométricas de bom histórico de dados observados situadas dentro da bacia, computando-se a sua área de influência em função das áreas de drenagens. Assim, a vazão específica de uma dada bacia será dada pela equação:

$$Q_{esp} = \frac{q_1 \cdot A_1 + q_2 \cdot A_2 + q_3 \cdot A_3 \dots}{A_1 + A_2 + A_3 \dots}$$

onde:

Q_{esp} = vazão específica natural ponderada da bacia hidrográfica;

q_1 = vazão específica da estação fluviométrica 1;

A_1 = área de drenagem da estação fluviométrica 1;

q_2 = vazão específica da estação fluviométrica 2;

A_2 = área de drenagem da estação fluviométrica 2; etc.

De posse da vazão específica natural ponderada da bacia, a produção hídrica natural de escoamento superficial médio pode ser calculada bastando multiplicar a área da bacia pela vazão específica média encontrada.

2.2.2.2. Métodos Indiretos

Os Métodos Indiretos correspondem ao emprego de Modelo Chuva-Vazão (MCV) que realizam a transformação da chuva média precipitada numa bacia de drenagem em vazão superficial afluyente à seção de controle da mesma, que pode ser a própria seção exutória da bacia hidrográfica ou então a bacia hidráulica de um reservatório estratégico.

O emprego de um modelo chuva-vazão (MCV) requer, dentre outros pré-requisitos, que se tenha um bom conhecimento da área a ser estudada, assim como do modelo empregado, envolvendo fatores como: sua estrutura, processo de calibração, validação e dados de entrada.

A utilização de um MCV é quase sempre limitada pela quantidade ou qualidade dos dados necessários. No caso de dados hidrometeorológicos, as limitações como insuficiência de postos medidores, série de pequena duração e discretização inadequada dos dados, podem forçar o usuário a escolher um modelo que se adapte a essas limitações.

A escolha de um MCV deve tomar por base a disponibilidade do modelo, a segurança e a facilidade de uso, o objetivo do uso do modelo, e a confiabilidade dos resultados como um todo: dados; modelo; calibração; validação e aplicação; a compatibilidade entre a formulação

conceitual do modelo e o regime hidroclimático da região e; a experiência regional prévia na aplicação do modelo.

A seleção do modelo chuva-vazão a adotar para simulação indireta do escoamento superficial nas bacias é uma questão de mera afinidade do hidrólogo com o modelo a empregar, uma vez que é possível se obter uma calibração satisfatória na maioria dos casos. Um dos aspectos importantes a considerar é o fator tempo de consecução do serviço.

No presente estudo de modelagem da disponibilidade hídrica superficial natural da bacia do Piranhas-Açu, o modelo selecionado foi o SMAP – Soil Moisture Accounting Procedure (LOPES et. al 1981, 1982).

O SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure), desenvolvido por LOPES et. al. (1981), é um modelo de simulação hidrológica do tipo chuva-vazão, tradicionalmente empregado na engenharia de recursos hídricos nacional.

O modelo SMAP mensal usa a equação de escoamento superficial do SCS – Soil Conservation Service. Um contador de umidade do solo é continuamente atualizado partindo de condições iniciais dadas ao modelo. A cada mês a atualização da umidade do solo na zona não saturada é processada calculando-se a infiltração através da equação de escoamento do SCS, a evaporação real em função da evaporação potencial e a recarga para a zona saturada é feita usando-se o conceito de capacidade de campo. A vantagem do modelo consiste no pequeno número de parâmetros os quais são facilmente calibrados. O tempo de calibração e validação do modelo é também bem menor do que outros modelos resultando numa maior eficiência no processo de modelagem.

O modelo realiza o balanço da umidade do solo baseado em três reservatórios que representam a superfície e as zonas não saturadas (solo) e saturadas (aquífero) do solo, como exemplifica a **Figura 2.18**.

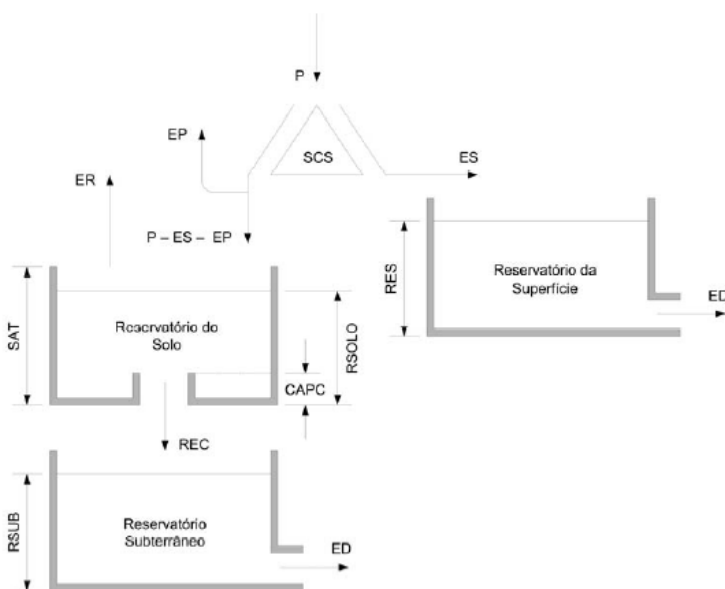


Figura 2.. Esquema de funcionamento do Modelo Chuva-Vazão SMAP (BARROS, 2007)

A cada evento de precipitação é feito um balanço de massa. Uma fração da chuva é transferida como escoamento superficial (ES). A lâmina restante (P-ES) sofre perda por evaporação potencial (EP). A lâmina remanescente (P-ES-EP) vai para o reservatório do solo onde a umidade é atualizada ao longo do tempo através da evapotranspiração real (ER):

$$ER = EP * TU$$

Onde:

TU – taxa de umidade do solo;

$$TU = RSOLO / SAT$$

RSOLO – taxa de umidade do reservatório (nível atual);

SAT – capacidade de saturação (nível máximo).

A outra saída do reservatório é a recarga para o reservatório subterrâneo através da capacidade de campo, isto é, se RSOLO for maior que a CAPC * SAT haverá recarga (REC):

$$REC = RSOLO * TU^4 * CREC$$

Onde:

CAPC – capacidade de campo, isto é, taxa de umidade máxima que o solo retém contra a ação da gravidade;

CREC – coeficiente de recarga.

No reservatório subterrâneo o nível de água existente (RSUB) é deplecionado a uma taxa constante (K) gerando o escoamento de base (EB):

$$K = (K_1)^N$$

Onde:

K_1 – constante de recessão para intervalo diário;

N – número de dias do novo intervalo de tempo.

A vazão total em m³/s é dada por:

$$Q = (EB + ES) * \text{Área (Km}^2) / 86,4$$

Onde:

$$EB = RSUB * (1 - K)$$

O escoamento superficial do SCS é dado pela fórmula:

$$ES = P * TU^{E2}$$

Onde:

E2 – parâmetro que controla o escoamento superficial;

SOLIN – taxa inicial de umidade do solo;

SUBIN – vazão básica inicial.

$$SAT = S / (1 - SOLIN)$$

$$RSOLO = SOLIN * SAT$$

$$RSUB = SUBIN * 86,4 / (Área * (1 - K))$$

A **Figura 2.19** mostra o fluxograma do modelo SMAP.

O modelo chuva-vazão SMAP tem uma estrutura relativamente simples, cujos parâmetros são relacionados com parâmetros físicos da bacia. Neste modelo, o número de parâmetros que dependem de calibração é reduzido ao máximo, o que permite a determinação dos valores ótimos globais com maior facilidade permitindo a regionalização dos mesmos.

O SMAP-M utiliza como dados de entrada a precipitação mensal (P) em mm; a evapotranspiração potencial (EP) mensal em mm; a área da bacia hidrográfica em km²; a taxa de deplecionamento (K), que gera o escoamento de base variando de 1 a 6; e a taxa de umidade do solo inicial (TU_{in}).

O modelo possui seis parâmetros que precisam ser calibrados, quais sejam: a capacidade de saturação do solo (SAT), que varia entre 400 e 5000; a taxa de geração de escoamento superficial (K_{ES} ou P_{ES}), que varia entre 0,1 e 10; o coeficiente de recarga do aquífero (CREC), que está relacionado com a permeabilidade da zona não-saturada do solo, e que varia entre 0,0 e 70,0; a taxa de deplecionamento (K) do nível d'água do terceiro reservatório (RSUB), responsável pela geração do escoamento de base (EB), que varia entre 1 a 6; a taxa de umidade inicial do solo (TU_{in}) que determina o nível inicial do segundo reservatório (RSOLO); e o escoamento de base inicial (EB_{in}) (NASCIMENTO et.al.,2007).

O Modelo SMAP tem sido objeto de extensa pesquisa e emprego em modelagem hidrológica, particularmente no Estado do Ceará, devido à sua aplicabilidade às bacias do semiárido Nordeste Brasileiro com elevado nível de aderência.

A FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos adotou o SMAP como principal ferramenta de modelagem hidrológica, consubstanciados nos trabalhos de Alexandre (2005), Alexandre et.al. (2005), Nascimento et.al. (2007), Barros (2007), visando dois objetivos:

- Obter um modelo capaz de realizar previsão de afluência aos principais reservatórios do Estado do Ceará com base em previsão climática;
- Desenvolver estudo de regionalização dos parâmetros do modelo, a partir de regressão hidrológica, de modo que se possa fazer previsão em locais onde não há disponibilidade de dados fluviométricos (NASCIMENTO et.al., 2007).

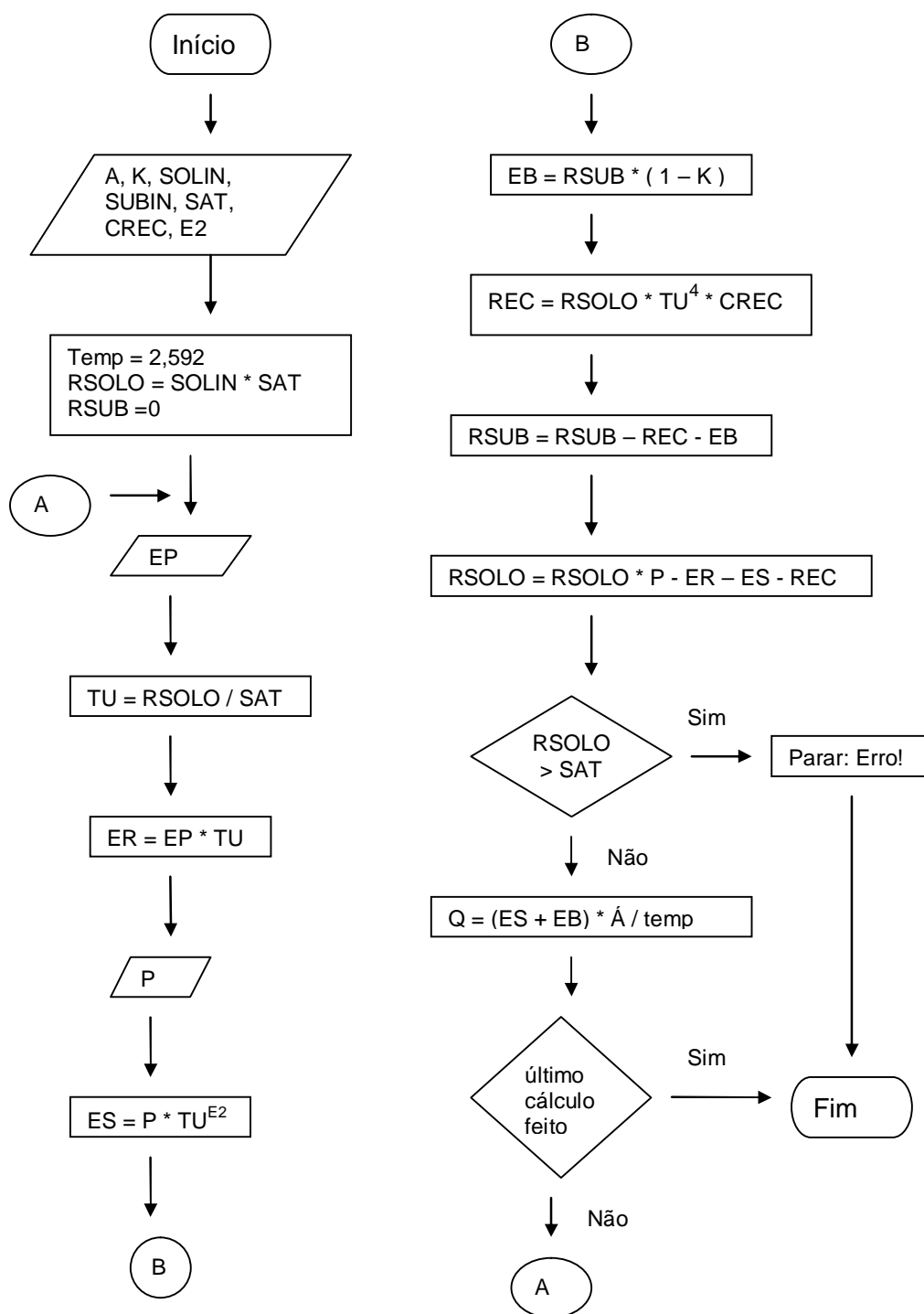


Figura 2.. Fluxograma do Modelo Chuva-Vazão Smap a Nível Mensal (LOPES et.al. 1981)

Porto et.al. (2008) aplicaram o modelo SMAP para as bacias dos rios Gramame, Mumbaba e Mamuaba situados no leste do Estado da Paraíba, investigando quatro funções objetivo de calibração do modelo.

Silva (2012) aplicou o modelo SMAP-M para extensão de séries de vazões para estudos de águas superficiais para a revisão do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte. Dessa forma, comprova-se a experiência regional no emprego do modelo SMAP-M para as bacias do semiárido nordestino.

A calibração do modelo chuva-vazão SMAP-M, realizada é a nível mensal, exige apenas de dois a cinco anos de pares de dados observados de vazão e precipitação média sobre a bacia de interesse, ao contrário das análises estocásticas que exigem longas séries de dados (> 25 anos) para obterem parâmetros confiáveis de ajustamento da curva de distribuição.

Sendo assim, é possível utilizar estações fluviométricas com histórico menor de dados observados, desde que haja registro simultâneo de vazão e precipitação nos postos de interesse.

O modelo SMAP-M para aplicação aos estudos de águas superficiais na bacia do Piranhas-Açu, foi programado em planilha Excel para calibração, validação e aplicação do modelo. Os parâmetros para calibração na planilha de cálculo foram redefinidos na codificação com a seguinte simbologia:

- Tuin - taxa de umidade inicial do solo (%);
- Ebin - escoamento de base inicial (m³/s);
- Sat - capacidade de saturação do solo (mm);
- Pes - taxa de geração de escoamento superficial;
- Crec - coeficiente de recarga do aquífero;
- k - taxa de depleção do nível da água do aquífero subterrâneo.

Há vários estudos realizados sobre a regionalização de vazões com emprego do modelo chuva-vazão SMAP, destacando-se Alexandre (2005) e Nascimento et al (2006) os quais apresentaram indicações práticas quanto a definição dos parâmetros de calibração do SMAP-M no nordeste brasileiro.

Ressalta-se que as sugestões apresentadas por Alexandre (2005) foram empregadas neste estudo, bem como a codificação na planilha em Excel.

Os dados de entrada do modelo para calibração e validação são as séries mensais de chuva e vazão e as médias mensais de evaporação potencial (FAOCLIM). Para realizar a calibração são necessários no mínimo de 2 a 5 anos de dados de vazão média mensal. A função objetivo selecionada para calibração do modelo foi uma função tipo soma do quadrado dos erros de ajuste, que conduz a um ajuste de “mínimos quadrados”, uma vez que se desejava priorizar o ajuste das vazões médias.

Em virtude da extensão de séries simultâneas de dados de vazão e precipitação com boa qualidade dos postos fluviométricos e pluviométricos da bacia do Piranhas-Açu, foram empregados de três a quatorze anos para calibração e de dez a trinta e um anos para validação.

Uma vez obtidos os parâmetros calibrados e validados de melhor ajuste do modelo SMAP aos dados observados no posto fluviométrico de interesse, foi empregada a extensão da série de vazão natural a partir da composição da precipitação média na bacia, com a maior extensão possível de dados disponíveis de pluviometria, conforme os polígonos de Thiessen, para a bacia de interesse.

Os dados do SMAP de alguns postos fluviométricos foram usados para modelagem dos escoamentos superficiais naturais em bacias dos reservatórios superficiais sem dados adequados para modelagem, observando-se critérios de regionalização hidrológica com base na similaridade do regime climático, das características geológicas, solo e vegetação da bacia e do uso e ocupação do solo na mesma.

2.2.3. Ajuste do Modelo SMAP-M às Estações Fluviométricas da Bacia do Piranhas-Açu

2.2.3.1. Considerações sobre a Seleção das Estações Fluviométricas para Ajuste do Modelo Chuva-Vazão SMAP

O ajuste do modelo SMAP aos postos fluviométricos de interesse corresponde aos processos de calibração e validação dos parâmetros teóricos de simulação adotados.

A calibração teve por objetivo ajustar os parâmetros do Modelo Chuva-Vazão SMAP-M, calculando-se as vazões pelo emprego do modelo, e comparando-as com as vazões observadas do posto fluviométrico em questão, de acordo com a disponibilidade simultânea de dados de precipitação dos postos pluviométricos componentes do polígono de Thiessen da bacia de drenagem do posto fluviométrico, e, os dados de vazão do mesmo.

A calibração foi realizada para períodos de três a 14 anos, enquanto que a validação foi realizada com o resto dos anos, normalmente da ordem de 10 ou mais anos, além do período de calibração em que havia dados simultâneos de precipitação dos postos pluviométricos, e de vazões do posto fluviométrico, para médias mensais de dados observados.

Os parâmetros ajustados do Modelo Chuva-Vazão SMAP foram então empregados para cálculo estimativo das aflúncias de águas superficiais aos reservatórios estratégicos que se desejava fazer estudo de vazão regularizada.

Estudos anteriores na bacia do Piranhas-Açu, incluindo os Planos Estaduais de Recursos Hídricos (PERH's) dos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, revelaram a inviabilidade de se empregar algumas estações fluviométricas situadas em trechos sob a influência direta de vazões regularizadas por grandes açudes estratégicos, localizados muito próximos, à montante.

Em estudo recente patrocinado pelo World Bank, com a participação da ANA, referente ao programa NLTA - Non Leading Technical Assistance, denominado "Análise de Estratégias de Alocação de Água e Impactos Econômicos nas Bacias dos Rios Jaguaribe e Piranhas-Açu no contexto de Mudanças Climáticas", parte do trabalho de Assistência Técnica desenvolvido pelo Banco Mundial a pedido da Agencia Nacional de Águas (ANA) " O PLANEJAMENTO

DE RECURSOS HÍDRICOS E ADAPTAÇÃO À VARIABILIDADE E MUDANÇA CLIMÁTICAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS SELECIONADAS NO NORDESTE DO BRASIL”, foram avaliadas os impactos das mudanças climáticas nas vazões regularizadas dos açudes Coremas-Mãe d’Água e Armando Ribeiro Gonçalves, na bacia do Piranhas-Açu.

Neste estudo foi empregado o modelo chuva-vazão SMAP-M, além de outros, para avaliação da vazão regularizada daqueles dois reservatórios.

Foi feita uma análise crítica aos dados de fluviometria das estações da bacia e foram constatados diversos problemas, dentre os quais que, em algumas estações, as medições de cota não refletiam fluxo de água, mas curvas de remanso de armazenamento devido ao fechamento de bueiros em passagens molhadas, após o pico do hidrograma. Seria, talvez, o caso da estação Sítio Vassouras (37410000).

Para modelagem das vazões afluentes ao açude Coremas-Mãe d’Água, foi empregado o SMAP-M ajustado à estação Sítio Vassouras (37410000), enquanto que, para modelagem das vazões afluentes ao açude Armando Ribeiro Gonçalves, foi empregada a estação Jardim de Piranhas (37470000), ambas modeladas entre os anos de 1962 a 2000.

As estações fluviométricas de Sítio Acauã (I e II) não servem para modelagem da extensão das séries de vazões, em função da curta extensão da série de Acauã I (6 anos) e devido à construção da barragem Armando Ribeiro Gonçalves, localizada a montante de Acauã II, que interfere completamente com o regime fluvial do rio Piranhas-Açu neste trecho.

No presente estudo, foi feito um ajuste do modelo SMAP-M às estações fluviométricas Sítio Vassouras (37410000), Piancó (37340000), Jardim de Piranhas (37470000), Sítio Volta (37515000) e São Fernando (37570000).

2.2.3.2. Ajuste do SMAP-M às Estações Fluviométricas Seleccionadas

– Ajuste do SMAP-M à Estação Sítio Vassouras

A estação fluviométrica Sítio Vassouras, código ANA 37410000, está localizado na bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu, e tem uma área de drenagem de 15.200km², situando-se entre as estações fluviométricas Várzea Grande (37220000), à montante, e Jardim de Piranhas (37470000), à jusante.

A calibração foi realizada com os dados observados no período de janeiro/1994 a dezembro/2007 correspondendo a 168 meses (quatorze anos).

A **Tabela 2.18** apresenta os parâmetros do modelo calibrado. A **Figura 2.20** apresenta o gráfico de calibração.

Tabela 2.. Resumo dos Parâmetros de Calibração do Modelo SMAP para Sítio Vassouras

Período	Parâmetros do Modelo SMAP-M						R ²
	Sat	Pes	CREC	k	Tuin	Ebin	
Jan/94 a dez/2007	900	4,5	0,8	1	0	2,146	0,74

Na **Figura 2.20** observa-se o bom ajuste gráfico do modelo SMAP (azul) às vazões observadas (vermelho) no processo de calibração. As precipitações estão invertidas nas abscissas superiores (verde).

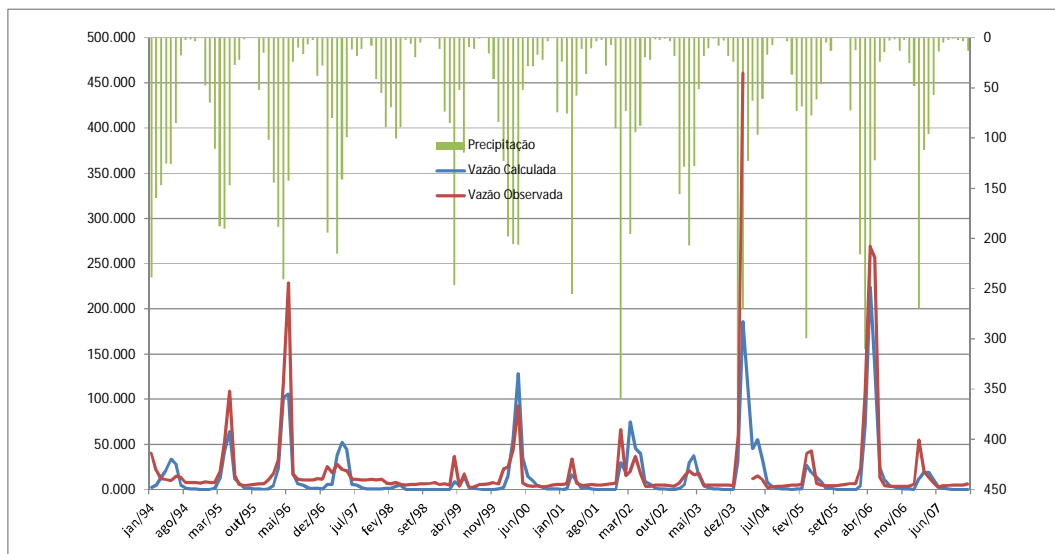


Figura 2.. Ajuste da calibração do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Sítio Vassouras (37410000)

Os resultados de calibração foram considerados razoáveis, devido à estação fluviométrica analisada ter apresentado um coeficiente de determinação (R^2) da ordem de 0,74.

Após a calibração, realizou-se a validação dos parâmetros calibrados pelo modelo SMAP. Para isso foi utilizado um novo período de precipitação média e vazão. O período de validação foi de abril/1962 a dezembro/1993, abrangendo 381 meses (31,7 anos). A **Figura 2.21** mostra através do gráfico o bom ajuste dos parâmetros validados pelo modelo SMAP-M

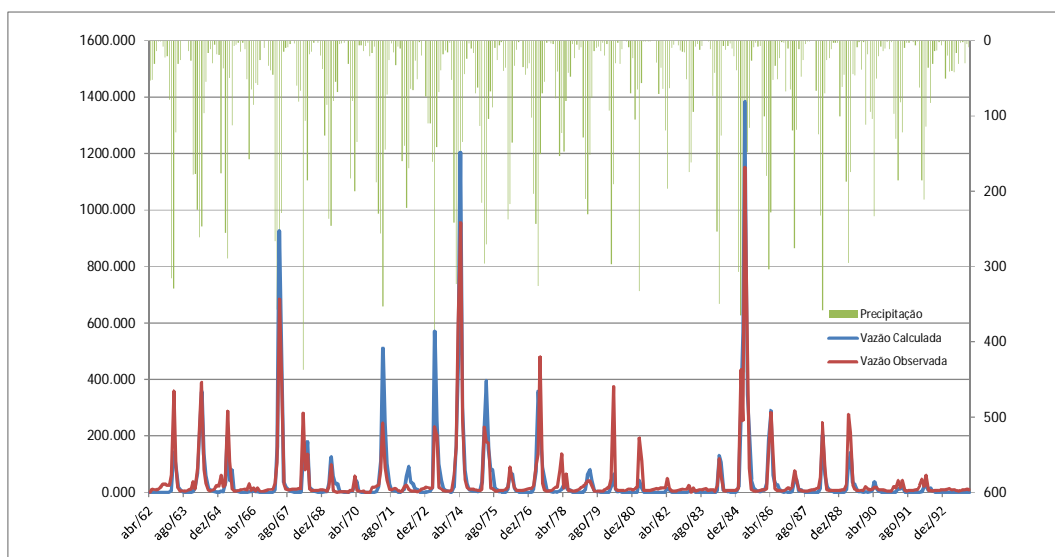


Figura 2.. Ajuste da Validação do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Sítio Vassouras (37410000)

Pode-se considerar que o resultado da validação foi bastante satisfatório, por ter apresentado um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,866, superior, portanto, ao R^2 da calibração.

– Ajuste do SMAP-M à Estação Piancó

A estação fluviométrica Piancó, código ANA 37340000, está localizado na bacia hidrográfica do rio Piancó, afluente do Piranhas-Açu, e tem uma área de drenagem de 4.560 km², situando-se à montante do açude Coremas-Mãe d'Água.

A calibração foi realizada com os dados observados no período de janeiro/1999 a dezembro/2004 correspondendo a 72 meses (seis anos).

A **Tabela 2.19** apresenta os parâmetros do modelo calibrado. A **Figura 2.22** apresenta o gráfico de calibração.

Tabela 2.. Resumo dos Parâmetros de Calibração do Modelo SMAP para Piancó

Período	Parâmetros do Modelo SMAP-M						R^2
	Sat	Pes	CREC	k	Tuin	Ebin	
Jan/99 a dez/2004	539	3,9	0,0	3	19	0,0	0,81

Na **Figura 2.22** observa-se o bom ajuste gráfico do modelo SMAP (azul) às vazões observadas (vermelho) no processo de calibração. As precipitações estão invertidas nas abscissas superiores (verde).

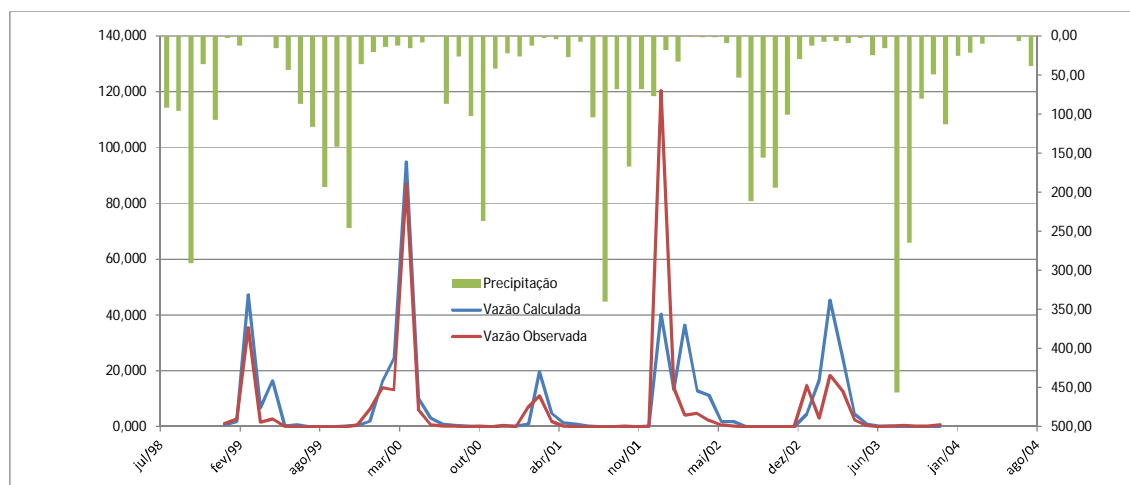


Figura 2.. Ajuste da calibração do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Piancó (37340000)

Os resultados de calibração foram considerados bons, devido à estação fluviométrica analisada ter apresentado um coeficiente de determinação (R^2) da ordem de 0,81.

Após a calibração, realizou-se a validação dos parâmetros calibrados pelo modelo SMAP. Para isso foi utilizado um novo período de precipitação média e vazão. O período de validação foi de janeiro/1965 a dezembro/1973, abrangendo 108 meses (9 anos). A **Figura 2.23** mostra através do gráfico o bom ajuste dos parâmetros validados pelo modelo SMAP-M

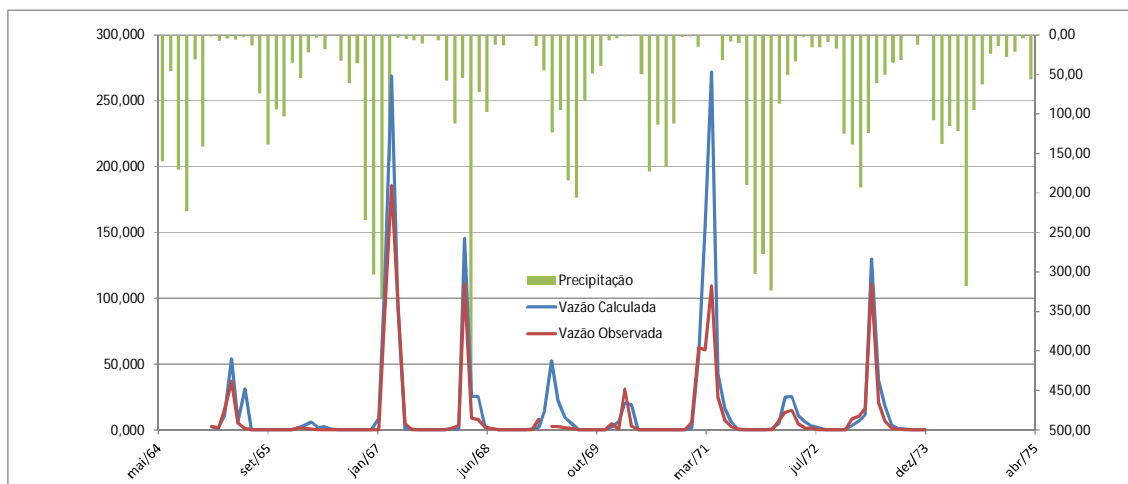


Figura 2.. Ajuste da Validação do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Piancó (37340000)

Pode-se considerar que o resultado da validação foi bastante satisfatório, por ter apresentado um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,87, superior, portanto, ao R^2 da calibração.

– Ajuste do SMAP-M à Estação Jardim de Piranhas

A estação fluviométrica Jardim de Piranhas, código ANA 37470000, está localizado na bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu, e tem uma área de drenagem de 21.600km², situando-se entre as estações fluviométricas Sítio Vassouras (37410000), à montante, e Acauã I e II (3710100), à jusante.

A calibração foi realizada com os dados observados no período de janeiro/1994 a dezembro/2007 correspondendo a 168 meses (quatorze anos). A **Tabela 2.20** apresenta os parâmetros do modelo calibrado. A **Figura 2.24** apresenta o gráfico de calibração.

Tabela 2.. Resumo dos Parâmetros de Calibração do Modelo SMAP para Jardim de Piranhas

Período	Parâmetros do Modelo SMAP-M						R^2
	Sat	Pes	CREC	k	Tuin	Ebin	
Jan/94 a dez/2007	1250	4,5	0	1	10	1,051	0,83

Na **Figura 2.24** observa-se o bom ajuste gráfico do modelo SMAP (azul) às vazões observadas (vermelho) no processo de calibração. As precipitações estão invertidas nas abscissas superiores (verde).

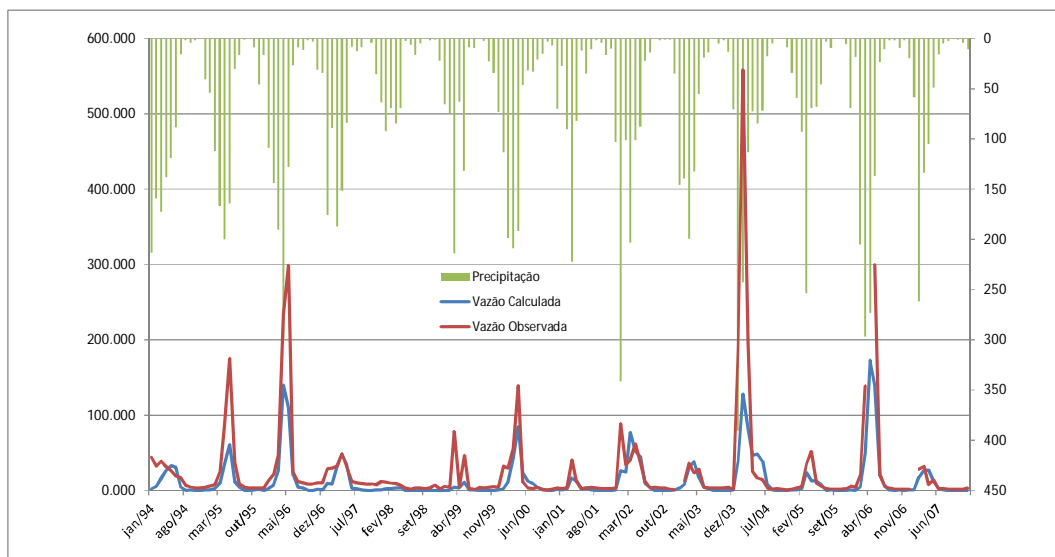


Figura 2.. Ajuste da calibração do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Jardim de Piranhas (37470000)

Os resultados de calibração foram considerados bastante satisfatórios, devido à estação fluviométrica analisada ter apresentado um coeficiente de determinação (R^2) da ordem de 0,829.

Após a calibração realizou-se a validação dos parâmetros calibrados pelo modelo SMAP. Para isso foi utilizado um novo período de precipitação média e vazão.

O período de validação foi de abril/1962 a dezembro/1993, abrangendo 381 meses (31,7 anos). A **Figura 2.25** mostra através do gráfico o bom ajuste dos parâmetros validados pelo modelo SMAP-M.

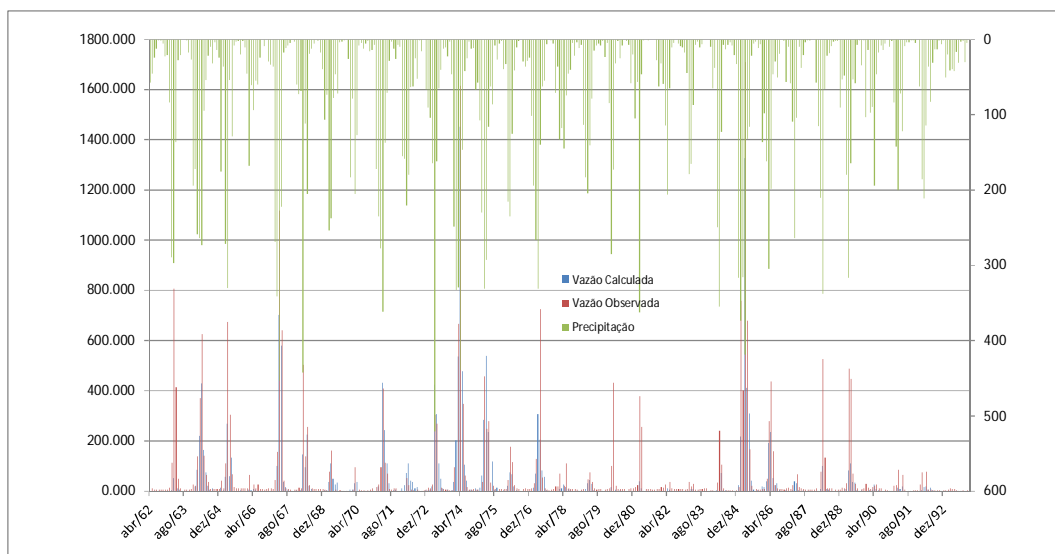


Figura 2.. Ajuste da Validação do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Jardim de Piranhas (37470000)

Pode-se considerar que o resultado da validação foi satisfatório, por ter apresentado um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,724.

– Ajuste do SMAP-M à Estação Sítio Volta

A estação fluviométrica Sítio Volta, código ANA 37515000, está localizado na bacia hidrográfica do rio Seridó, afluente do Piranhas-Açu, e tem uma área de drenagem de 1.860 km², situando-se à montante da estação fluviométrica de São Fernando.

A calibração foi realizada com os dados observados no período de janeiro/1984 a dezembro/1986 correspondendo a 36 meses (três anos).

A **Tabela 2.21** apresenta os parâmetros do modelo calibrado. A **Figura 2.26** apresenta o gráfico de calibração.

Tabela 2.. Resumo dos Parâmetros de Calibração do Modelo SMAP para Sítio Volta

Período	Parâmetros do Modelo SMAP-M						R^2
	Sat	Pes	CREC	k	Tuin	Ebin	
Jan/84 a dez/86	400	1,6	0,0	3	30	0,0	0,81

Na **Figura 34** observa-se o bom ajuste gráfico do modelo SMAP (azul) às vazões observadas (vermelho) no processo de calibração. As precipitações estão invertidas nas abscissas superiores (verde).

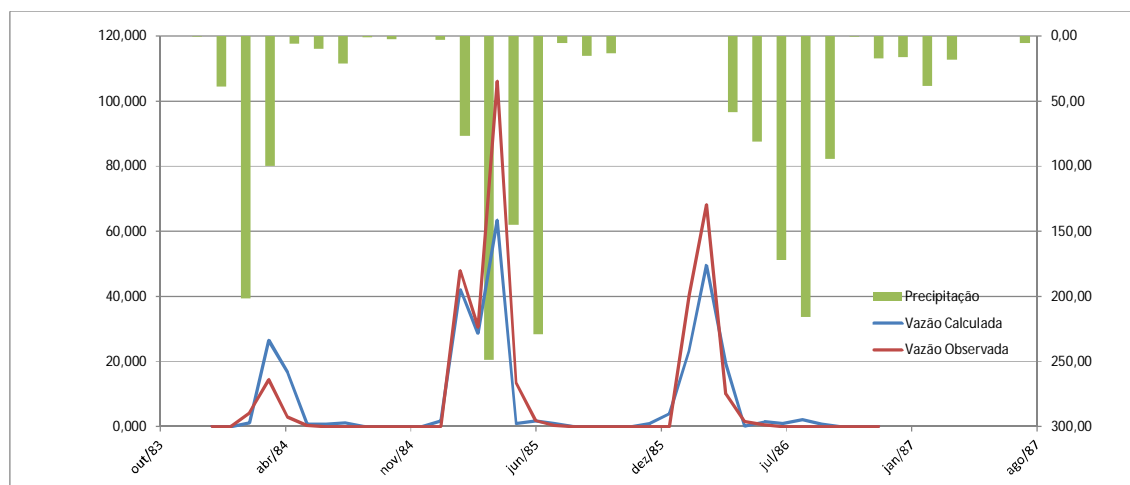


Figura 2.. Ajuste da calibração do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Sítio Volta (37515000)

Os resultados de calibração foram considerados bons, devido à estação fluviométrica analisada ter apresentado um coeficiente de determinação (R^2) da ordem de 0,89.

Após a calibração, realizou-se a validação dos parâmetros calibrados pelo modelo SMAP. Para isso foi utilizado um novo período de precipitação média e vazão. O período de validação foi de janeiro/1981 a dezembro/1983, abrangendo 36 meses (3 anos). A **Figura 2.36** mostra através do gráfico o bom ajuste dos parâmetros validados pelo modelo SMAP-M.

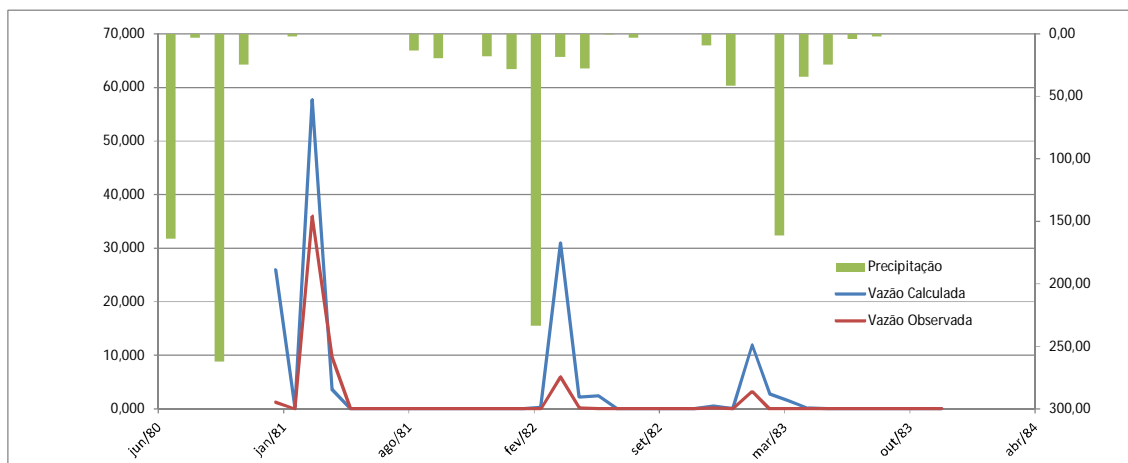


Figura 2.. Ajuste da Validação do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de Sítio Volta (37515000)

Pode-se considerar que o resultado da validação foi satisfatório, por ter apresentado um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,75.

– Ajuste do SMAP-M à Estação de São Fernando

O posto fluviométrico São Fernando, código ANA 37570000, está localizado no rio Seridó, na bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu, e tem uma área de drenagem de 9.700 Km², sendo que 6.264,8 km² estão dentro do Estado do Rio Grande do Norte e 3.435,2 km² no Estado da Paraíba.

O período de calibração e validação do ajuste do SMAP-M à bacia do São Fernando foi adotado para ser entre as décadas de 1960/70 de forma a reduzir a influência da açudagem de montante nos parâmetros do modelo. Vale salientar que há três açudes de médio porte (acima de 10 hm³) a poucos quilômetros a montante de São Fernando, que influenciam a vazão observada, após aquele período.

A calibração foi realizada com os dados observados no período de janeiro/1969 a dezembro/1971 correspondendo a 36 meses (três anos).

A **Tabela 2.22** apresenta os parâmetros do modelo calibrado. A **Figura 2.28** apresenta o gráfico de calibração.

Tabela 2.. Resumo dos Parâmetros de Calibração do Modelo SMAP para São Fernando

Período	Parâmetros do Modelo SMAP-M						R^2
	Sat	Pes	CREC	k	Tuin	Ebin	
Jan/69 a dez/71	700	2	0	3	20	0	0,912

Na **Figura 2.28** observa-se o bom ajuste gráfico do modelo SMAP (azul) às vazões observadas (vermelho) no processo de calibração. As precipitações estão invertidas nas abscissas superiores (verde).

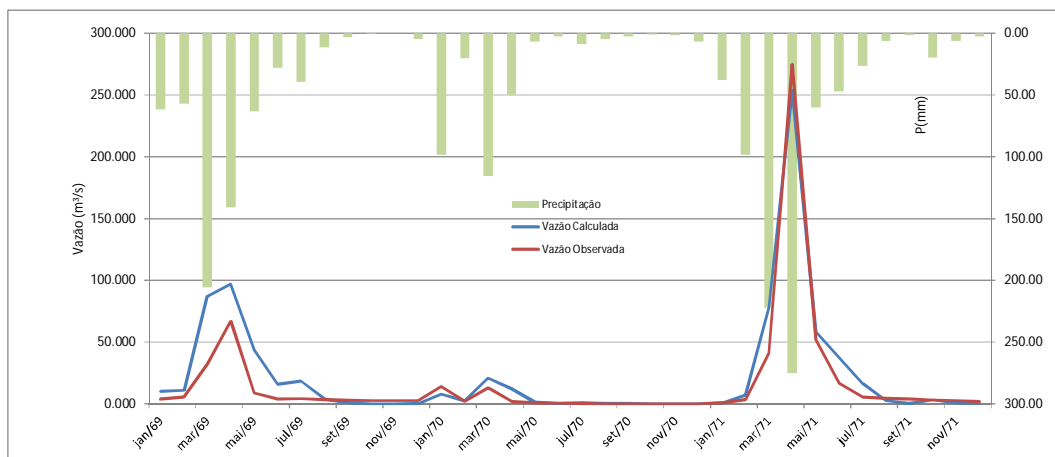


Figura 2.. Ajuste da calibração do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de São Fernando (37570000)

Os resultados de calibração foram considerados bastante satisfatórios, devido à estação fluviométrica analisada ter apresentado um coeficiente de determinação (R^2) da ordem de 0,912.

Após a calibração realizou-se a validação dos parâmetros calibrados pelo modelo SMAP. Para isso foi utilizado um novo período de precipitação média e vazão.

O período de validação foi de janeiro/1965 a dezembro/1968, abrangendo 48 meses (4 anos).

A **Figura 2.29** mostra através do gráfico o bom ajuste dos parâmetros validados pelo modelo SMAP-M.

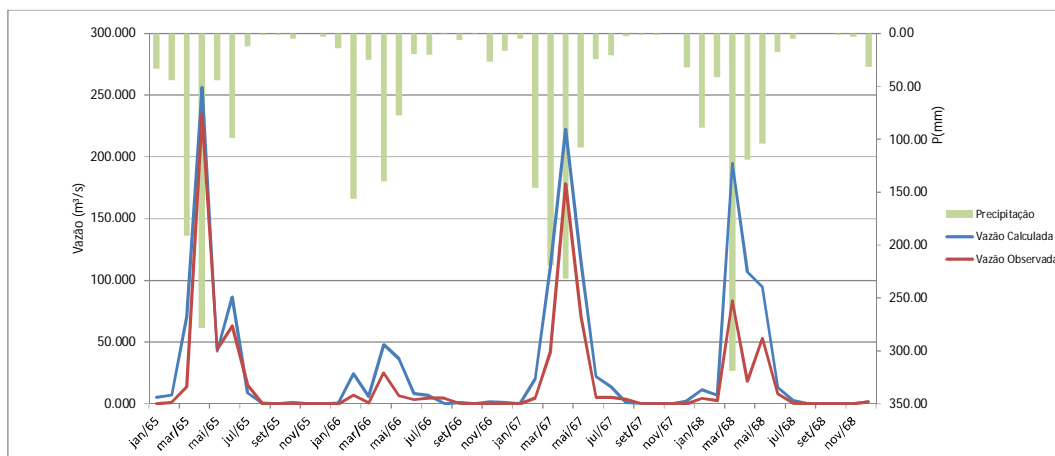


Figura 2.. Ajuste da Validação do Modelo do SMAP à Estação Fluviométrica de São Fernando (37570000)

Pode-se considerar que o resultado da validação foi satisfatório, por ter apresentado um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,864.

2.2.3.3. Análise dos Resultados do Ajuste do SMAP-M às Estações Fluviométricas

Os períodos de calibração e validação adotados na modelagem de ajuste dos postos fluviométricos aos dados observados, nem sempre são suficientes para se avaliar a potência dos parâmetros do modelo ajustado em representar o deflúvio real na sub-bacia de interesse de um reservatório estratégico situado numa bacia distinta daquela do posto fluviométrico simulado. Esta potência pode ser avaliada pelo rendimento hidrológico, definido pela razão entre o deflúvio médio resultante da aplicação do modelo ajustado aos dados de precipitação média mensais da bacia de interesse e a chuva média na bacia durante o período simulado.

Diferentes parâmetros de ajuste do modelo conduzem a diferentes rendimentos hidrológicos para uma determinada bacia de reservatório. Por exemplo, para o açude Tapera, situado no Médio Piranhas Paraibano/Potiguar, ou seja, no centro da bacia do Piranhas-Açu, numa distância média relativamente equivalente para a maioria das estações fluviométricas selecionadas, foram obtidos os seguintes rendimentos hidrológicos:

Rendimentos Hidrológicos obtidos para o Açude Tapera com as estações FLU Selecionadas:

- FLU Sítio Volta: RH = 28%
- FLU Sítio Vassouras: RH = 5,44%
- FLU Jardim de Piranhas: RH = 3,56 %
- FLU São Fernando: RH = 18,09 %
- FLU Piancó: RH = 11,14%

O açude Tapera foi simulado pelo Projeto de Integração das Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional (PISF) resultando num rendimento hidrológico de 12,4 %.

As simulações realizadas para o açude Tapera empregando-se a estação FLU Piancó (RH=11,14%), o qual difere apenas 10% comparado ao rendimento hidrológico do PISF, resultou numa vazão regularizada para 95% de garantia absolutamente iguais ($Q_{95\%} = 0,072 \text{ m}^3/\text{s}$), tal como será apresentado a seguir.

O que se comprovou na prática com as simulações efetuadas para a maioria dos 51 reservatórios da bacia do Piranhas-Açu, foi que os rendimentos hidrológicos resultantes da aplicação das mesmas estações fluviométricas para o período completo de simulação (1962 a 2009) mantiveram-se da mesma ordem de grandeza, com pequenas variações, independentemente do açude considerado.

Assim, concluiu-se que a estação FLU Piancó é a que conduz a resultados mais aproximados dos rendimentos hidrológicos com os determinados no PISF, apresentando rendimentos hidrológicos sempre da ordem de 7 a 14%. As estações fluviométricas de Jardim de Piranhas e Sítio Vassouras conduzem a baixos rendimentos hidrológicos, sempre da ordem de 3,5% a 6%. A Estação FLU São Fernando conduz a rendimentos hidrológicos mais elevados, chegando a 18%, enquanto que a estação Sítio Volta superestima o rendimento hidrológico, produzindo resultados acima de 20%. Dessa forma, elegeu-se a estação FLU Piancó como a mais representativa para simular as vazões afluentes aos reservatórios estratégicos da bacia do Piranhas-Açu.

A exceção dessa preferência se deu em apenas três reservatórios: Açude Carneiro, situado no Estado da Paraíba, na qual se empregou as vazões afluentes geradas pelo SMAP-M calibradas

para a estação fluviométrica Sítio Vassouras (37410000) e, os açudes Carnaúba e Esguincho, situados no Estado do Rio Grande do Norte, cujas vazões afluentes foram oriundas da calibração do modelo SMAP-M para a estação fluviométrica de São Fernando (37570000).

No caso do açude Carneiro, a escolha da estação Sítio Vassouras se deu em virtude deste açude se situar num riacho diretamente afluente à estação fluviométrica Sítio Vassouras, numa distância de apenas 25 km a montante da mesma. Esperava-se assim, que a estação Sítio Vassouras representasse melhor o escoamento superficial na bacia de drenagem do açude Carneiro, dada a sua proximidade. Entretanto, como o açude Carneiro também teve sua vazão regularizada calculada tanto pelo Projeto de Integração do rio São Francisco com as bacias do Nordeste Setentrional (PISF), quanto pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba (PERH-PB), elaborado em 2005, o que se verificou foi que a modelagem da vazão regularizada determinada no âmbito do Plano da Bacia do Piranhas-Açu resultou em valores inferiores às do PISF e PERH-PB, compondo uma envoltória de vazões regularizadas na qual a do PISF se tornou a curva central. Uma vez que foi admitido o critério de se empregar as vazões regularizadas determinadas no âmbito do PISF como as vazões reais a serem adotadas para o Plano da Bacia Piranhas-Açu, a exceção à regra experimentada para o açude Carneiro não compromete os resultados do PPA e, serve também, para corroborar com a assertiva de que a estação fluviométrica Sítio Vassouras realmente produz rendimentos hidrológicos inferiores à da estação fluviométrica de Piancó.

Com relação aos açudes Carnaúba e Esguincho, ambos no Estado do Rio Grande do Norte, não houve determinação de vazão regularizada pelo PISF, nem pelo PERH-RN/1998. A seleção da estação fluviométrica de São Fernando como a representativa para geração das vazões afluentes aos açudes geradas pelo modelo SMAP-M, se deu por duas razões: a primeira, é que os dois açudes estão dentro a bacia de drenagem da estação fluviométrica São Fernando, a montante desta, aproximadamente 35 km para o açude Carnaúba, e 54 km para o açude Esguincho, e admitiu-se, da mesma forma, que a estação São Fernando representasse melhor o rendimento hidrológico das respectivas bacias hidrográficas. O segundo motivo, foi que o consultor que desenvolve a presente modelagem hidrológica para o PPA é o mesmo que desenvolveu a modelagem hidrológica para a atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte, para a SEMARH-RN, ora em curso, e, portanto, tinha ciência de que havia sido acordada com a Comissão de Fiscalização do PERH-RN, que seria empregada a estação fluviométrica de São Fernando para simular as vazões afluentes àqueles açudes. O critério aqui foi de manter coerência futura com as vazões regularizadas que serão admitidas na atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte, quando o mesmo estiver concluído, com base no conhecimento prévio dos resultados alcançados por aquele plano, embora o mesmo ainda esteja em andamento.

2.3. Vazão Regularizada dos Açudes Estratégicos da Bacia do Piranhas-Açu

2.3.1. Considerações Gerais

O objetivo do presente capítulo foi avaliar a vazão regularizada dos 51 açudes estratégicos da bacia do Piranhas-Açu com capacidade superior a 10 hm³, conforme a lista apresentada na **Tabela 2.23**.

As capacidades de regularização foram estimadas para garantias de 80, 90, 95 e 99%, visando determinar a curva de regularização na faixa das garantias normalmente empregadas para gestão dos recursos hídricos.

A **Tabela 2.23** apresenta a relação dos 51 reservatórios estratégicos com capacidade de acumulação igual ou superior a 10 hm³ para a bacia do Piranhas-Açu.

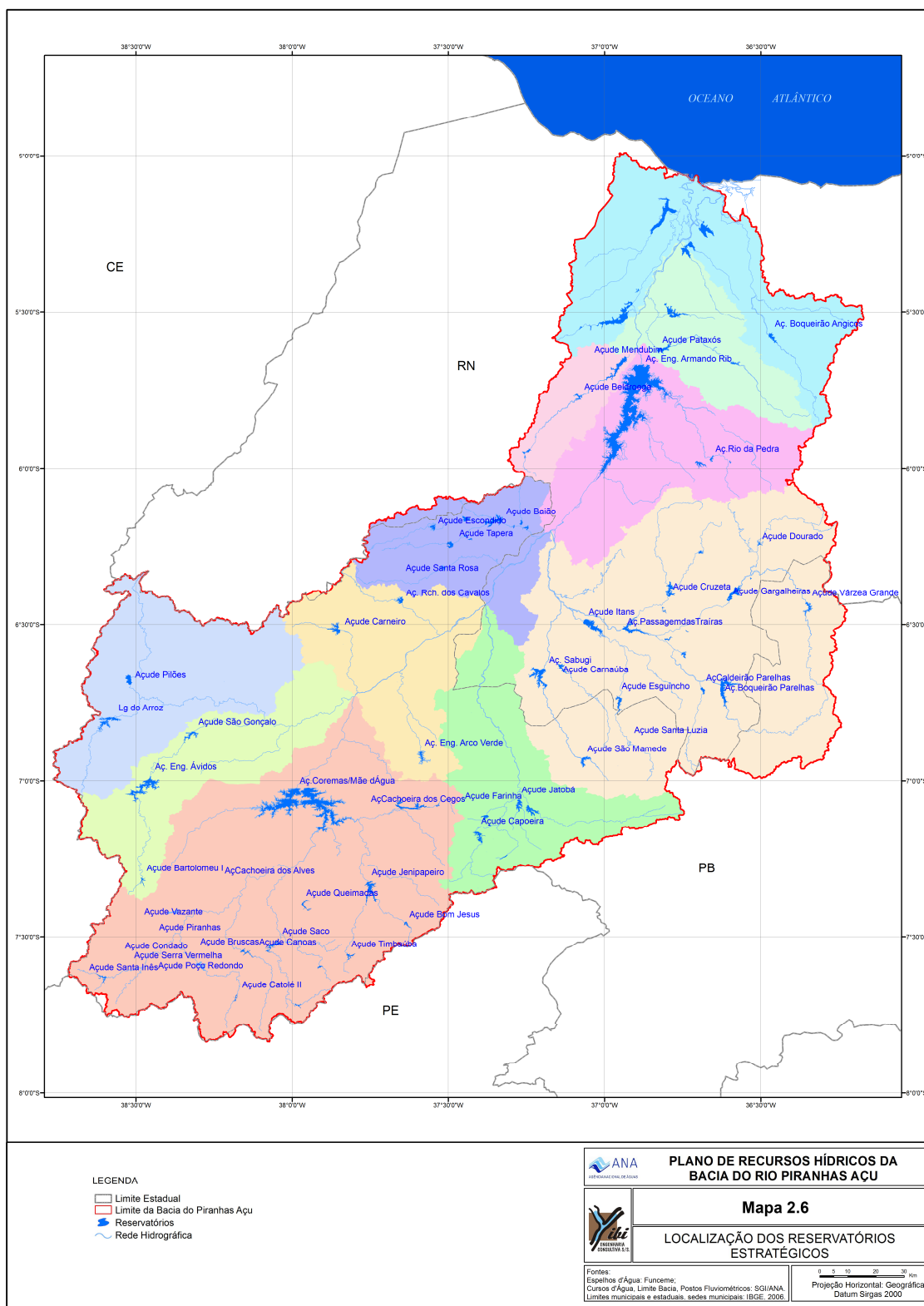
Tabela 2.. Relação dos Açudes Estratégicos na Bacia do Piranhas-Açu

ITEM	CÓDIGO	AÇUDE	MUNICÍPIO	ESTADO	VOLUME MÁXIMO (hm ³)
1	PB-001	Curema Mãe d'Água	Coremas	PB	1358,00
2	PB-002	Engenheiro Ávidos	Cajazeiras	PB	255,00
3	PB-003	Saco	Nova Olinda	PB	97,50
4	PB-004	Lagoa do Arroz	Cajazeiras	PB	80,20
5	PB-005	Cachoeira dos Cegos	Catingueira	PB	71,90
6	PB-006	Jenipapeiro (Buiú)	Olho d'Água	PB	70,80
7	PB-007	Capoeira	Mãe d'Água	PB	53,50
8	PB-008	São Gonçalo	Sousa	PB	44,60
9	PB-009	Baião	São José do Brejo do Cruz	PB	39,20
10	PB-010	Bruscas	Cural velho	PB	38,20
11	PB-011	Condado	Conceição	PB	35,00
12	PB-012	Carneiro	Jericó	PB	31,30
13	PB-013	Engenheiro Arcoverde	Condado	PB	30,60
14	PB-014	Tapera	Belém do Brejo do Cruz	PB	26,40
15	PB-015	Santa Inês	Santa Inês	PB	26,10
16	PB-016	Farinha	Patos	PB	25,70
17	PB-017	Piranhas	Ibiara	PB	25,70
18	PB-018	Várzea Grande	Picuí	PB	21,50
19	PB-019	Riacho dos Cavalos	Riacho dos Cavalos	PB	17,70
20	PB-020	Bartolomeu I	Bonito de Santa Fé	PB	17,60
21	PB-021	Jatobá I	Patos	PB	17,50
22	PB-022	Escondido	Belém do Brejo do Cruz	PB	16,30
23	PB-023	São Mamede	São Mamede	PB	15,80
24	PB-024	Queimadas	Santana dos Garrotes	PB	15,60
25	PB-025	Timbaúba	Juru	PB	15,40
26	PB-026	Bom Jesus II	Água Branca	PB	14,20
27	PB-027	Pilões	São João do Rio do Peixe	PB	13,00
28	PB-028	Santa Luzia	Santa Luzia	PB	12,00
29	PB-029	Serra Vermelha I	Conceição	PB	11,80
30	PB-030	Cachoeira dos Alves	Itaporanga	PB	10,60
31	PB-031	Catolé I	Manaira	PB	10,50
32	PB-032	Canoas	Nova Olinda	PB	45,55
33	PB-033	Poço Redondo	Santana de Mangueira	PB	62,75
34	PB-034	Santa Rosa	Belém do Brejo do Cruz	PB	16,57
35	PB-035	Vazante Engenheiro	Diamante	PB	9,09
36	RN-001	Armando Ribeiro Gonç	Assú	RN	2400,00
37	RN-002	Boqueirão de Parelhas	Parelhas	RN	85,00
38	RN-003	Itans	Caicó	RN	81,80
39	RN-004	Mendubim	Assú	RN	76,40
40	RN-005	Sabugi	São João do Sabugi	RN	65,30
41	RN-006	Passagem das Traíras	Jardim do Seridó	RN	48,90

ITEM	CÓDIGO	AÇUDE	MUNICÍPIO	ESTADO	VOLUME MÁXIMO (hm ³)
42	RN-007	Marechal Dutra (Gargalheiras)	Acari	RN	40,00
43	RN-008	Cruzeta	Cruzeta	RN	35,00
44	RN-009	Carnaúba	São João do Sabugi	RN	25,70
45	RN-010	Pataxó	Ipanguaçu	RN	24,40
46	RN-011	Esguincho	Ouro Branco	RN	21,60
47	RN-012	Boqueirão de Angicos	Angicos	RN	19,80
48	RN-013	Rio da Pedra	Santana do Mato	RN	12,40
49	RN-014	Beldroega	Paraú	RN	11,40
50	RN-015	Dourado	Curraís Novos	RN	10,30
51	RN-016	Caldeirão de Parelhas	Parelhas	RN	10,00
Total					5621,16

O **Mapa 2.6** apresenta a Localização e Bacia hidrográfica dos reservatórios estratégicos na bacia do Piranhas-Açu.

Mapa 2.. Localização e Bacias Hidrográficas dos Reservatórios Estratégicos



O período histórico das simulações foi de 48 anos, entre janeiro/1962 a dezembro/2009, o qual correspondeu ao período que maximizava o número de postos pluviométricos adotados para formação dos polígonos de Thiessen das precipitações observadas nos postos pluviométricos, permitindo assim uma maior representatividade espacial da precipitação média em cada bacia de reservatório.

Para cada açude foram compostos polígonos de Thiessen para determinação da chuva média na bacia e geração das vazões afluentes aos reservatórios.

Para cada bacia de açude foi identificada a estação do banco de dados FAOCLIM mais representativa das evapotranspirações que aconteceriam na bacia de drenagem, e as evaporações que ocorreriam no lago do reservatório.

As evapotranspirações de referência empregadas na avaliação das vazões afluentes aos reservatórios são apresentadas na **Tabela 2.24**.

Para simulação individual dos reservatórios, foi adotada a série de evapotranspirações da estação FAOCLIM mais próxima do açude. Da mesma forma, foi selecionada a estação pluviométrica mais próxima da bacia hidráulica do reservatório, para simulação da precipitação média incidente diretamente sobre o espelho d'água.

Tabela 2.. Evapotranspirações de Referência para a Bacia do Piranhas-Açu

UNIDADE DE PLANEJAMENTO	ESTAÇÃO FAOCLIM SELECIONADA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Bacias Difusas do Baixo Piranhas	Açu	222.49	201.45	208.12	183.77	173.43	146.08	159.83	185.02	202.74	223.92	226.90	232.01	2365.76
Pataxó	Angicos	140.00	128.00	132.00	115.00	107.00	90.00	99.00	114.00	128.00	146.00	145.00	147.00	1491.00
Paraú	Paraú	218.25	196.99	204.31	180.73	169.71	144.66	157.42	181.99	198.36	220.62	221.60	227.33	2321.97
Médio Piranhas Potiguar	Santana dos Matos	212.84	192.98	200.01	177.00	166.88	141.53	153.97	177.99	193.85	214.59	216.38	221.60	2269.62
Médio Piranhas Paraibano/Potiguar	Brejo do Cruz	212.40	189.90	196.31	175.23	165.58	143.39	157.18	182.53	197.59	217.75	217.11	221.74	2276.71
Seridó	Jardim do Seridó	217.24	196.62	202.98	179.26	169.75	143.08	156.62	181.81	198.95	219.25	221.63	226.25	2313.44
Médio Piranhas Paraibano	Pombal	211.46	186.91	193.84	173.59	162.44	142.48	156.08	181.74	196.98	218.02	216.37	220.67	2260.58
Espinharas	Patos	207.30	187.22	194.02	169.12	151.89	127.64	138.98	161.83	180.57	204.87	209.28	215.61	2148.33
Peixe	Souza	210.17	183.14	189.44	172.97	164.29	148.12	162.42	189.07	202.03	221.52	216.59	219.65	2279.41
Alto Piranhas	São José de Piranhas	206.35	179.41	185.45	169.02	158.79	143.09	156.80	183.44	197.21	216.97	212.48	215.51	2224.52
Piancó	Piancó	206.51	183.38	190.52	169.21	152.17	131.87	143.29	167.01	185.03	207.97	209.91	215.13	2162.00

2.3.2. Metodologia do Balanço Hídrico

O escopo do presente estudo de simulações dos açudes foi o de definir as vazões regularizadas para os açudes da bacia do Piranhas-Açu com capacidade de acumulação igual ou superior a 10 hm³. Estes açudes se enquadram na categoria de reservatórios interanuais cuja capacidade é normalmente superior ao volume médio anual afluyente e tem a finalidade de regularizar as vazões durante o período de estiagem de um ano para outro.

Estes reservatórios exigem uma gestão operacional adequada e prudente, pois guardam a memória passada da liberação das vazões, ou seja, a liberação passada impacta na capacidade de liberação de vazões futuras por um longo período de tempo, variável de açude para açude.

A vazão legal de referência para gestão operacional de reservatórios é a Q90 anual, isto é, a vazão contínua anual liberada com garantia durante 90% do tempo de operação. Em outras palavras, espera-se que, em média, de cada 10 anos, o reservatório atenda satisfatoriamente uma demanda igual à sua vazão regularizada em pelo menos nove anos. No entanto, estimou-se a vazão regularizada para outros níveis de garantia de forma a se poder aquilatar os impactos resultantes da flexibilização das regras operacionais para liberação de vazões maiores ou inferiores à Q90%.

A Agência Nacional de Águas – ANA considera a vazão regularizada Q95% como referência para planejamento, uma vez que o abastecimento humano exige um nível de garantia de atendimento da demanda hídrica maior do que os demais usos competitivos. A vazão regularizada Q95% corresponde a uma falha de atendimento a cada 20 anos, considerado nível razoável para planejamento do abastecimento ao longo prazo.

A equação do balanço hídrico contabiliza todas as afluências ou aportes aos reservatórios bem como todas as retiradas ou eventuais sangrias. A equação tem a forma da Equação 3.1.

$$V_{ri} = V_{ri-1} + Va_i + Vp_i - Ve_i - Vs_i - Q_{abi} \quad \text{Eq - 3.1}$$

onde:

- V_{ri} = volume armazenado no mês i;
- V_{ri-1} = volume armazenado no mês i-1;
- Va_i = vazão afluyente ao reservatório no mês i;
- Vp_i = precipitação direta sobre o espelho d'água no mês i;
- Ve_i = volume evaporado no reservatório no mês i;
- Vs_i = volume sangrado no mês i;
- Q_{abi} = volume abstraído (regularizado) no mês i.

O procedimento de simulação da operação consiste na solução da equação 3.1 para cada um dos períodos de simulação com base nas afluências históricas observadas ou determinadas por meio de modelo chuva-vazão para o local específico da barragem.

São consideradas as seguintes restrições na operação:

- Quando V_{ri} ultrapassa a capacidade máxima do reservatório:

$$V_{s_i} > Q_{ab_i} \rightarrow Q_{ab_i} = 0$$

$$V_{s_i} < Q_{ab_i} \rightarrow Q_{ab_i} = V_{s_i} - Q_{ab_i}$$

- Quando o reservatório em um dado mês não conseguiu suprir a vazão retirada, vale então para esses meses:

$$Q_{ab_i}' < Q_{ab_i}$$

onde:

Q_{ab_i}' = vazão retirada nos meses secos extremos

Quando ocorre o segundo caso, denomina-se falha do reservatório no suprimento. A garantia de abastecimento (G) para certa vazão regularizada pré-fixada é dada pela relação entre o número de falhas anotadas no período de simulação (Nf) e o número de períodos simulados (N), conforme a equação 3.2.

$$G = \left(1 - \frac{Nf}{N}\right) \cdot 100 \quad \text{Eq - 3.2}$$

A solução da equação do balanço hídrico e o correspondente cálculo de G para uma faixa de valores de vazão regularizada permite o estabelecimento da chamada curvas de garantia do reservatório.

a) Conceito de Volume de Alerta (usado no PISF)

Os açudes da região semiárida do nordeste brasileiro apresentam uma estrutura temporal de ocorrência de falhas caracterizada por uma alta concentração destas durante os períodos secos, ou seja, quando ocorre uma falha, esta geralmente não ocorre isoladamente. As falhas que estes reservatórios apresentam podem estender-se ao longo de vários meses, ou anos, o que coloca em xeque o conceito de vazão regularizada com porcentagem fixa de garantia G%.

Nestes casos é bastante arriscado contar com uma vazão com garantia de 90%, dado que durante os restantes 10% todas as atividades socioeconômicas da região abastecidas pelo açude poderiam entrar em colapso.

Justifica-se, portanto, a introdução de outro conceito que, traduzido em regra de operação, venha a minorar tais riscos. Trata-se do conceito de *volume de alerta* de um reservatório, que corresponde ao volume a partir do qual apenas um percentual da vazão regularizada pode ser retirada. A introdução deste conceito na regra de operação resulta em:

$$Q_{ab_i} - \left\{ \begin{array}{l} Q_r \leftrightarrow V_{i+1} \geq V_a \\ \%Q_r \leftrightarrow V_a \geq V_i \geq V_{min} \\ 0 \leftrightarrow \left[V_i + Q_{a_i} - E_i \cdot \left(\frac{A_i + A_{i+1}}{2} \right) \right] \leq V_{min} \\ Q_v < \%Q_r \leftrightarrow V_{i+1} \geq V_{min} \end{array} \right\}$$

$$V_{i+1} \leq V_{max} \rightarrow i = 1, 2, \dots, n$$

onde:

V_{i+1} , V_i , A_{i+1} , A_i , são respectivamente os volumes e as áreas do espelho d'água do reservatório para os instantes de tempo i e $i+1$ da simulação; Q_{ab_i} é a vazão retirada; E_i é a parcela de evaporação; Q_{a_i} é a vazão afluyente ao reservatório, todas respectivamente no intervalo de tempo i da simulação; V_{\min} e V_{\max} , correspondem ao volume mínimo operacional e a capacidade máxima do reservatório; Q_v , a vazão de falhas e n o número de intervalos de tempo simulados.

No presente trabalho, não foi adotado o conceito de volume de alerta nas simulações. Este conceito foi adotado no Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) para o nordeste setentrional, daí que, quando forem comparadas as vazões regularizadas entre o presente estudo e o PISF, haverá diferenças nas vazões regularizadas em grande parte devido ao emprego do conceito de volume de alerta no Projeto de Integração das Águas do Rio São Francisco.

A metodologia empregada para avaliação da capacidade de regularização dos reservatórios foi feita com base na solução direta da equação do balanço hídrico.

A equação do balanço hídrico de um reservatório pode ser dada por:

$$Z_{i+1} = Z_i + I_i - \frac{A_{i+1} + A_i}{2} E - M - S_i \quad Eq - 3.3$$

com:

$$S_i = \max(B - K; 0)$$

$$B = Z_i + I_i - \frac{A_{i+1} + A_i}{2} E - M \quad Eq - 3.4$$

Onde:

- Z_t = volume armazenado no início do ano t ;
- I_t = volume afluyente ao reservatório durante o ano t ;
- A_t = área do espelho d'água no início do ano t ;
- E = lâmina evaporada durante o ano t , suposta constante ao longo dos anos;
- K = capacidade do reservatório;
- S_t = volume perdido por sangria durante o ano t .

Representando-se a bacia hidrográfica por

$$Z(h) = \alpha \cdot h^3 \quad Eq - 3.5 \quad e \quad A(h) = 3 \cdot \alpha \cdot h^2 \quad Eq - 3.6,$$

com:

h - altura d'água

α - fator de forma (obtido por regressão entre z e h^3)

Supondo um modelo mutuamente exclusivo, com volume contínuo e uma série de vazões médias mensais afluentes pode-se resolver a equação de balanço hídrico segundo o processo descrito por CAMPOS (1990)¹, a saber:

1. Estabelece-se um valor inicial para a retirada M;
2. Considera-se um volume inicial igual $\text{MIN}(0,5.K; 0,5.\mu)$;
3. Calcula-se:
 - $Z_U = Z_t + I_t - p / Z_t + I_t - K$
 - $Z_U = K$

Caso contrário

- $DS = \text{MAX}(Z_t + I_t - K; 0)$

Onde:

Z_U é o volume armazenado no final da estação e DS o volume sangrado no ano t.

4. Calcula-se o volume no fim da estação seca (início do próximo ano) por:

- a) divide-se M e E em L partes;
- b) retirada da reserva, se disponível, de M/L

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

- $Z_2 = Z_1 - M / L$ se $Z_1 - M / L > Z_{MIN}$
- $Z_2 = Z_{MIN}$ caso contrário (ANO FALHO)
- $Z_{MIN} = \text{MAX}(0,05.K; 0,20.\mu)$

VOLUME UTILIZADO

- $D_M = Z_1 - Z_2$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

$$h_2 = \left(\frac{Z_2}{\alpha} \right)^{1/3}$$

- c) retirada da reserva, se disponível, de E/L

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

- $h_3 = h_2 - E / L$ se $h_2 - E / L \geq 0$
- $h_3 = 0$ caso contrário

¹ CAMPOS, J.N.B. 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMITENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF. TITULAR. UFC.

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_3 = \alpha \cdot h_3^3$$

VOLUME UTILIZADO

$$D_E = Z_3 - Z_2$$

d) retorna-se a b) até completar as L fases da integração.

5. Prossegue-se com os passos 3 e 4 até que se complete toda a série de afluições (vazões geradas), totalizando os volumes evaporado, sangrado e liberado;

Concluída a série de afluições, para o caso de se desejar um nível de garantia, por exemplo, de 90%, verifica-se se a frequência de falha calculada ficou entre 9,95% e 10,05%, ou seja, estabelece-se uma margem de erro de 0,05% para a determinação da vazão para uma determinada garantia desejada. Caso o valor da garantia esteja dentro deste intervalo se aceita o valor de M (capacidade de regularização), caso contrário atribui-se um novo valor de M e retorna-se a 1.

Para realização do balanço hídrico foi empregado o programa computacional SIMRES – Simulador de Reservatórios desenvolvido na Universidade Federal do Ceará pelos professores José Nilson Bezerra Campos, PhD, e Ticiania Studart, D.Sc., cuja tela de abertura é apresentada na **Figura 30**.

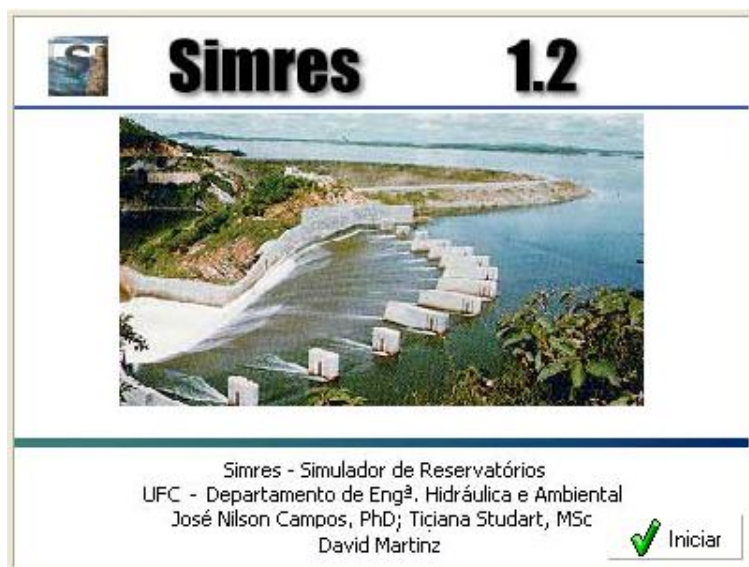


Figura 2.. Tela de Abertura do Programa Simulador de Reservatórios.

O Programa SIMRES permite a simulação de um único reservatório por vez, de forma que não foram simulados sistemas integrados de reservatórios em cadeia, tal como foi feito no PISF. Daí seria de se esperar haver diferenças entre as vazões regularizadas calculadas para o Plano Piranhas-Açu e o PISF.

O Programa permite simular tanto uma série histórica observada ou calculada por um modelo chuva-vazão, tal como foi feito para o Plano Piranhas-Açu, empregando-se o modelo SMAP-

M, quanto gerar uma série sintética estocástica de 1000 a 5000 anos com base numa distribuição Normal, Log-Normal ou Gama-2 parâmetros. O modelo estocástico seria o recomendado caso a extensão da série histórica fosse inferior à indicada por MacMahon (1986) anteriormente citada.

A vantagem do emprego da série estocástica em relação ao emprego da série histórica determinística é que os resultados obtidos com a segunda são dependentes do Estado Inicial da Reserva (EIR) considerado na simulação, enquanto que a primeira, ao considerar milhares de anos de simulação, conduz à vazão regularizada para o Estado de Equilíbrio do Sistema, conforme MacMahon (1986). No presente estudo, foi considerado o emprego da série histórica obtida pelo modelo chuva-vazão SMAP-M.

2.3.3. Estudos Anteriores de Vazões Regularizadas para os Açudes da Bacia do Piranhas-Açu

Três estudos anteriores são referência para comparação das vazões regularizadas para os reservatórios estratégicos da bacia do Piranhas-Açu:

- Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte elaborado pela consultora Hidroservice Engenharia para a SERHID (atual SEMARH-RN), no ano de 1998 (PERH-RN/1998);
- Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba elaborado pelo Consórcio TC/BR-Concremat Engenharia para a Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente –SECTMA/Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba-AESA, no ano de 2005 (PERH-PB/2005);
- Projeto de Integração de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional, elaborado pela Consultora VBA/FUNCATE/INPE para o Ministério da Integração Nacional, datado de março/2000 (PISF).

Os estudos de vazões regularizadas dos açudes estratégicos pelos três estudos anteriores foram significativamente diferentes do ponto de vista metodológico.

Por exemplo, para o PERH-RN/1998 a Hidroservice Engenharia usou o modelo SSARR – Streamflow Synthesis And Reservoir Regulation, desenvolvido pelo United States Army Corps of Engineers, para extensão da série histórica de vazões. O modelo de operação dos reservatórios foi um modelo próprio desenvolvido pela Consultora, denominado ODIPRO, em programa dinâmica, para otimização das vazões regularizadas, em função das demandas e aportes aos reservatórios.

Para o PERH-PB, o Consórcio TC/BR/Concremat empregou o MODHAC-Modelo Hidrológico Auto-Calibrável para extensão da série de vazões. A operação simulada dos reservatórios foi feita com o emprego do programa computacional CADILAC, desenvolvido na Universidade Federal da Paraíba por Silans. Neste modelo, a rede hidrográfica é desenhada sinteticamente, sob a forma de uma rede de fluxo, permitindo o traçado das conexões entre os açudes da bacia hidrográfica em questão.

Por sua vez, para o Projeto de Integração do São Francisco, a VBA Consultores empregou o MODHAC para extensão da série de vazões e desenvolveu um programa computacional próprio para operação dos reservatórios, denominado OPERA, o qual incorpora o conceito de volume de alerta aqui citado.

Para efeito de comparação entre os modelos empregados nos Planos Estaduais de Recursos Hídricos e o Projeto de Integração do São Francisco, a **Tabela 2.25** mostra as vazões regularizadas para diferentes garantias para os dois maiores reservatórios de cada estado, dentro da bacia do Piranhas-Açu: Armando Ribeiro Gonçalves, no Estado do Rio Grande do Norte, e sistema Coremas-Mãe d'Água, no Estado da Paraíba.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas dos Estudos Anteriores para os Dois Maiores Açudes da Bacia do Piranhas-Açu.

Açude	Projeto de Integração do São Francisco			Planos Estaduais de Recursos Hídricos (RN/PB)		
	Vazão Regularizada (m ³ /s)					
Garantia	Q100% ou Q99%	Q95%	Q90%	Q100% ou Q99%	Q95%	Q90%
Armando Ribeiro Gonçalves-RN	15,00	17,77	19,24	20,500	25,380	28,055
Coremas Mãe-d'Água-PB	8,50	9,60	10,53	6,333	7,993	9,162

Conforme se pode observar na **Tabela 2.25**, a diferença entre a vazão regularizada para uma garantia de 90% para o açude Armando Ribeiro Gonçalves calculada para o PISF e o PERH-RN chega a 45,8%. Para o açude Coremas-Mãe d'Água a diferença cai para 13%, comparando-se os valores do PERH-PB com o PISF.

2.3.4. Vazões Regularizadas

Apresenta-se a seguir as vazões regularizadas para os 51 açudes estratégicos da bacia do Piranhas-Açu.

2.3.4.1. Açude Coremas-Mãe d'Água (Estevam Marinho + Eng^o Egberto da Cunha)

O reservatório Coremas-Mãe d'Água é composto dos açudes Estevam Marinho (açude Coremas) e Eng^o Egberto da Cunha (açude Mãe d'Água) cujas bacias hidráulicas são interligadas por um pontilhão, formando assim um sistema único de reservação.

As duas barragens conjugadas acumulam um volume máximo de 1,358 bilhões de metros cúbicos, drenando uma bacia hidrográfica de 7.968 km² e formando uma bacia hidráulica conjunta de 11.530 ha. A **Figura 2.31** apresenta a localização dos reservatórios na sub-bacia do Piancó, e sua respectiva bacia hidrográfica.

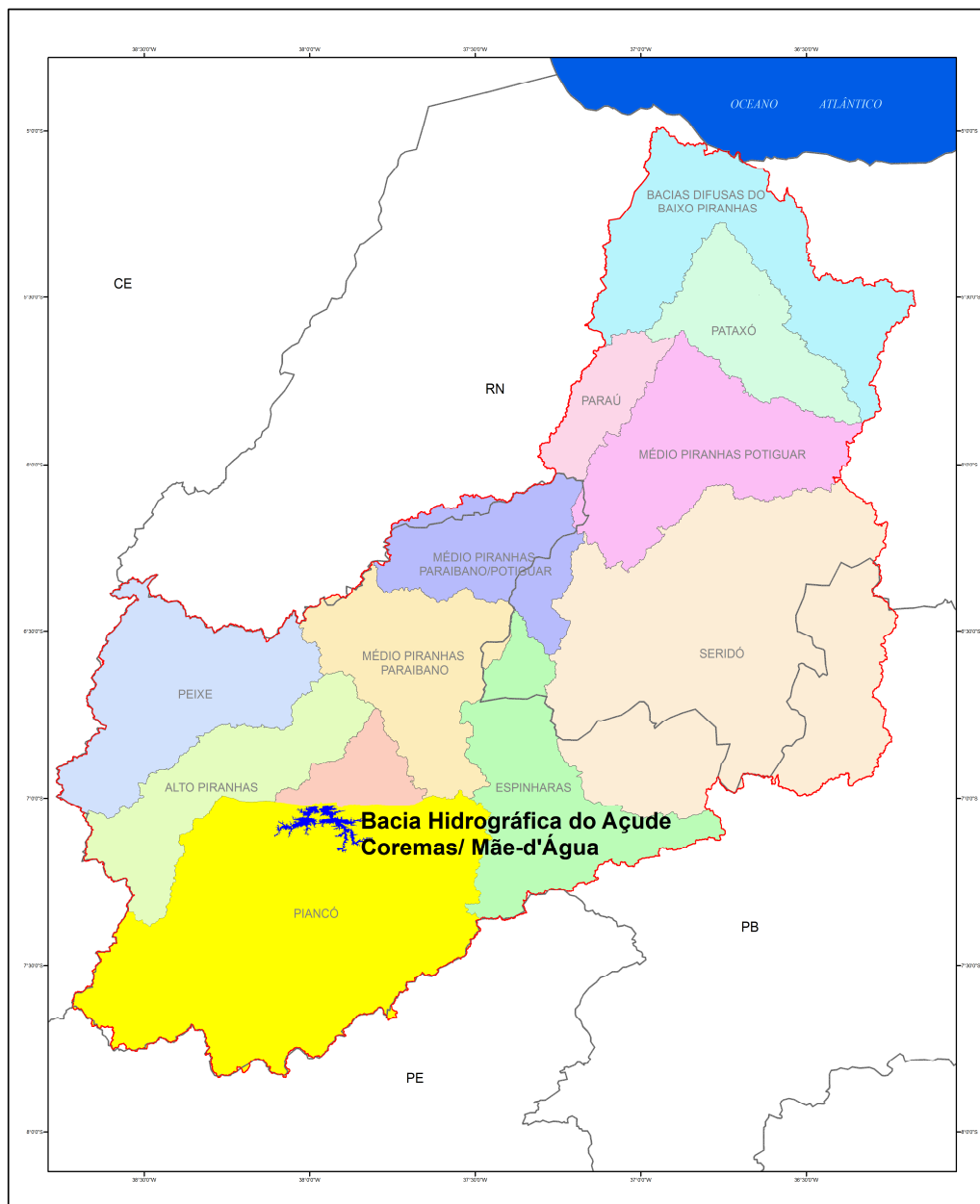


Figura 2.. Localização dos Açudes Estevam Marinho-Egberto da Cunha (Coremas-Mãe d'Água)

A **Tabela 2.26** apresenta a Ficha Técnica da barragem Estevam Marinho (Coremas) e a **Tabela 2.27** apresenta a Ficha Técnica para a barragem Eng^o Egberto da Cunha (Mãe d'Água), ambas localizadas na sub-bacia do Piancó, no Estado da Paraíba.

Tabela 2.. Ficha Técnica do Açude Estevam Marinho (Coremas)

Dados Gerais	
Nome do Açude	Estevam Marinho (Coremas)
Sub-bacia Hidrográfica	Rio Piancó
Curso d'água barrado	Rio Piancó
Município	Coremas
Estado	Paraíba
Origem da Ficha Técnica	DNOCS / CAGEPA
Latitude	7° 1' Sul
Longitude	37° 57' Oeste
Volume máximo (m ³)	720.000.000
Volume morto (m ³)	31.896.000
Área da bacia hidrográfica (km ²)	6.840
Área da bacia hidráulica (ha)	5.950
Início de construção	1935
Final de construção	1943
Dados da Barragem	
Altura (m)	47
Comprimento (m)	1550
Material da barragem	Terra
Largura do sangradouro	175
Tipo de sangradouro	Perfil Creager
Cota da soleira	245
Cota mínima	200
Cota do porão	217,96
Tomada d'água	

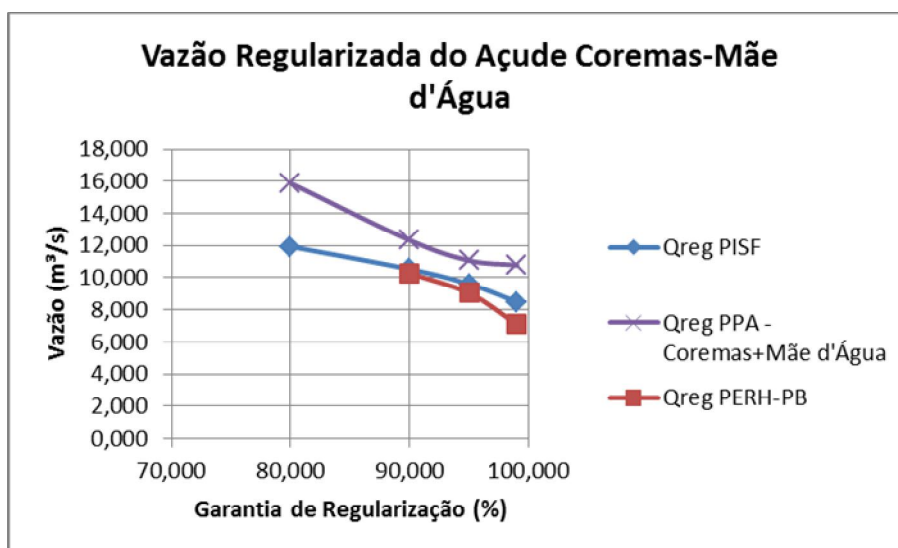
Tabela 2.. Ficha Técnica do Açude Engº Egberto da Cunha (Mãe d'Água)

Dados Gerais	
Nome do Açude	Engº Egberto da Cunha (Mãe d'Água)
Sub-bacia Hidrográfica	Rio Piancó
Curso d'água barrado	Rio Piancó
Município	Coremas
Estado	Paraíba
Origem da Ficha Técnica	DNOCS / CAGEPA
Latitude	7° 1' Sul
Longitude	37° 59' Oeste
Volume máximo (m ³)	638.700.000
Volume morto (m ³)	13.910.000
Área da bacia hidrográfica (km ²)	1.128
Área da bacia hidráulica (ha)	5.580
Início de construção	1953
Final de construção	1956
Dados da Barragem	
Altura (m)	50
Comprimento (m)	175
Material da barragem	Concreto ciclópico
Largura do sangradouro	175
Tipo de sangradouro	Perfil Creager

Dados Gerais

Nome do Açude	Engº Egberto da Cunha (Mãe d'Água)
Cota da soleira	245
Cota mínima	200
Cota do porão	219,60
Tomada d'água	

A **Figura 2.32** apresenta as curvas de vazões regularizadas e a **Tabela 2.28**, os valores das vazões regularizadas para garantias de 90%; 95% e 99%.



(Nota: PISF= Projeto de Integração do São Francisco; PPA= Plano Piranhas-Açu; PERH-PB/2005=Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba, 2005)

Figura 2.. Curvas de Regularização do Açude Coremas-Mãe d'Água.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Sistema Coremas-Mãe d'Água
Características Gerais

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			1.358.700.000
Bacia Hidrográfica (km²)			7.968
Bacia Hidráulica (ha)			11.530
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	12,3	10,53	9,16
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	11,0	9,60	7,99
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	10,7	8,50	6,33

Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	922,96	865,3	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	115,12	117,4	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	12,47	13,56	Sem dado

2.3.4.2. Comparação entre as Vazões Regularizadas Oriundas do PISF, do PERH-PB e do Plano da Bacia do Piranhas-Açu

Analisando-se a **Figura 2.33**, pode ser observado que as vazões regularizadas oriundas do Projeto de Integração do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional (PISF) estão compreendidas entre a curva de regularização para o açude Coremas-Mãe d'Água calculadas pelo PERH-PB e o PPA.

A diferença entre as vazões regularizadas oriundas do PISF e as do Plano Piranhas-Açu (PPA) é da ordem de 13% para Q_{95} e de 16% para Q_{90} . Por seu lado a diferença entre as vazões calculadas no PPA e o PERH-PB/2005 é de 23% para Q_{90} e de 27% para Q_{95} .

O rendimento hidrológico obtido no PISF foi de 13,56%, enquanto que o rendimento hidrológico da bacia do sistema Coremas-Mãe d'Água obtida no Plano atual foi de 12,47%, representando uma diferença de apenas 8% entre os valores calculados.

A explicação para estas diferenças de cálculo podem ser atribuída às seguintes razões:

- O Projeto de Integração do São Francisco considerou a simulação integrada dos reservatórios Coremas e Mãe d'Água como um único açude e incorporou o conceito de volume de alerta nas simulações, o qual reduz a vazão regularizada, enquanto que as simulações do Plano da bacia do rio Piranhas-Açu considerou a simulação isolada dos reservatórios, sem introduzir volume de alerta e, foram somadas as vazões regularizadas individuais dos açudes para compor a vazão regularizada do sistema;
- A série histórica utilizada nas simulações do Plano da bacia do Piranhas-Açu não é a mesma empregada no PISF nem no PERH-PB. A série de vazões empregadas no PISF foi de 1912 a 1991, enquanto que no PPA foi de 1962 a 2009, que, na última década, apresentou dois anos com elevados índices pluviométricos (2004 e 2009), enquanto que a série utilizada no PISF foi marcada por períodos de secas de maior magnitude (1983, 1991) e por poucos períodos de cheias (apenas 1974 e 1985);
- O modelo chuva-vazão empregado para simular as vazões afluentes aos açudes no PISF foi o MODHAC, com passo de tempo de cálculo diário, enquanto que o modelo empregado no Plano da Bacia Piranhas-Açu foi o SMAP-M, com passo de tempo mensal. As diferenças entre os modelos e os passos de tempo de cálculo adotados contribuem para geração de deflúvios distintos, apesar de semelhantes entre si;
- O algoritmo de simulação do balanço hídrico ao nível de reservatório empregado no PISF difere do usado no atual Plano da Bacia do Piranhas-Açu. Para o PISF foi desenvolvido um programa específico (NÓBREGA, 1999), denominado OPERA, em linguagem FORTRAN, o qual incorpora o conceito de volume de alerta e balanço sinérgico com as vazões regularizadas pelos reservatórios de montante. Para o PERH-

PB foi empregado o Programa CADILAC, com algoritmo de programação dinâmica. Nas simulações atuais do Plano da Bacia do Piranhas-Açu foi empregado o programa computacional SIMRES, desenvolvido no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (CAMPOS, STUDART e MARTINZ, 2001), o qual considerou a simulação isolada dos reservatórios nas suas respectivas bacias de drenagem.

Dessa forma, não é possível se fazer uma comparação imediata entre as vazões regularizadas resultantes calculadas pelos três diferentes estudos, uma vez que são oriundos de bases metodológicas e séries temporais completamente diferentes, mas é preciso entender cada valor no contexto do estudo que foi feito, com as nuances particulares a cada modelo adotado.

A diferença resultante entre as vazões regularizadas calculadas nos dois estudos é aceitável, porque são justificadas pelas diferenças entre a metodologia e a extensão da base de dados hidrológicos empregadas em cada estudo, não fazendo sentido sua comparação, pois são produtos de métodos e modelos distintos, tal como foi aqui exposto.

2.3.4.3. Vazão Regularizada do Açude Engº Ávidos

O açude Engº Ávidos fica localizado na sub-bacia do Alto Piranhas. É o terceiro maior reservatório da bacia do Piranhas-Açu e o segundo maior reservatório dentro do Estado da Paraíba. A **Figura 2.33** apresenta a localização do açude na bacia.

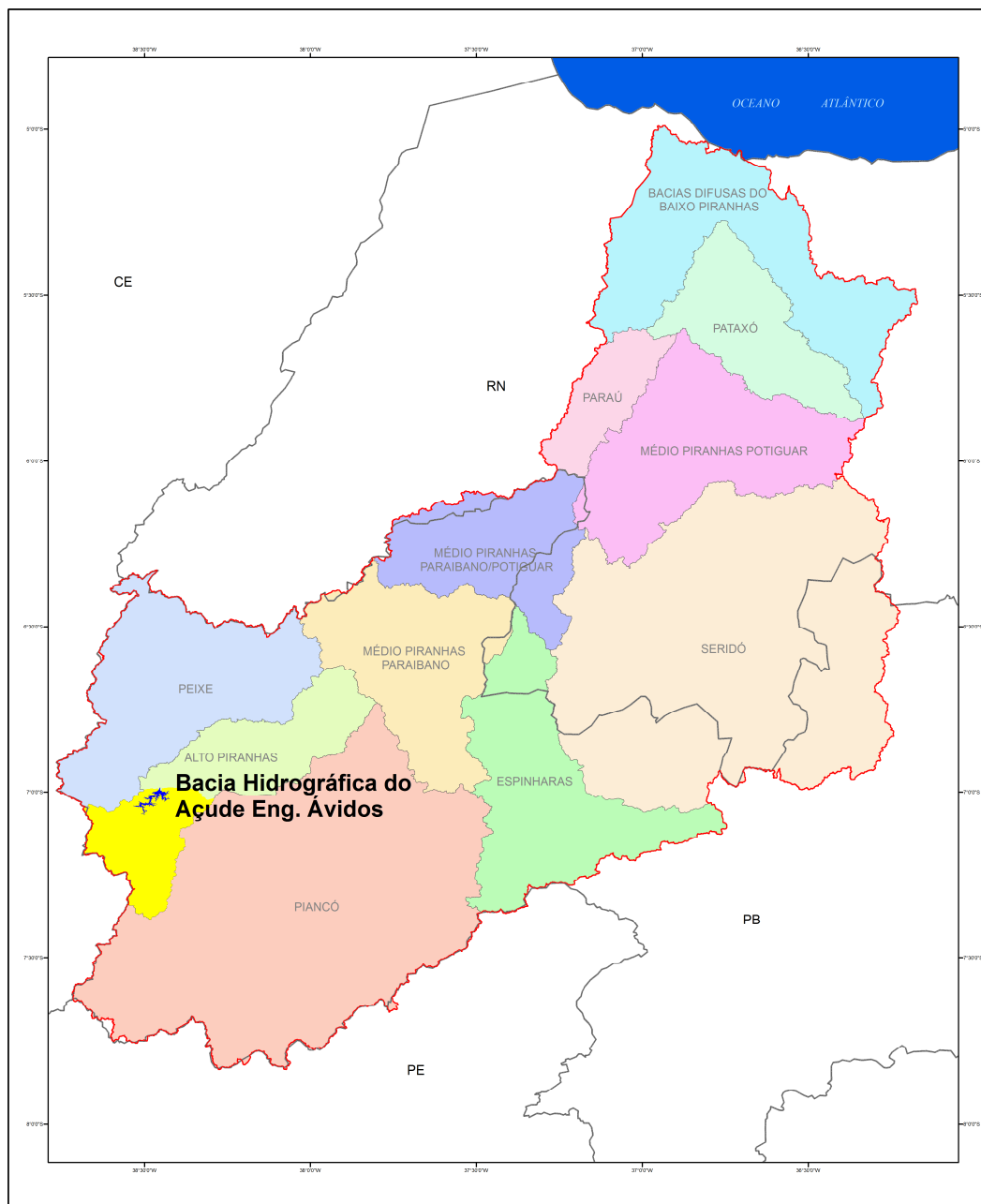


Figura 2.. Localização do Açude Eng^o Ávidos na bacia.

A **Figura 2.34** apresenta o gráfico de vazão regularizada do açude e a **Tabela 2.29** as respectivas vazões.

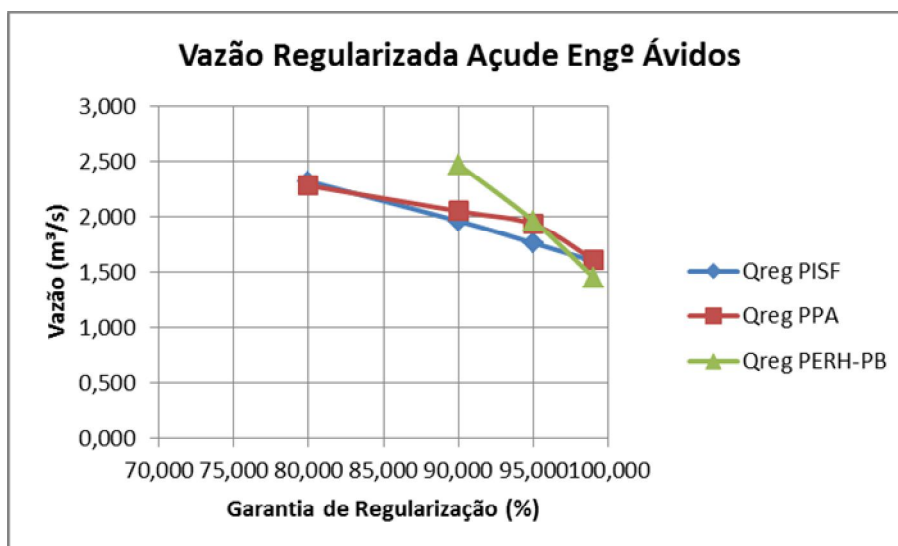


Figura 2.. Curvas de Regularização do Açude Engº Ávidos.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Engenheiro Ávidos
Características Gerais

Capacidade de Acumulação (m³)	255.000.000		
Bacia Hidrográfica (km²)	935		
Bacia Hidráulica (ha)	2845		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	2,05	1,96	2,47
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	1,93	1,76	1,96
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	1,61	1,60	1,45
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	908,33	883,6	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	127,09	132,3	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	13,99	14,97	Sem dado

A **Figura 2.34** mostra uma boa aderência entre as curvas de regularização de vazão calculadas para o Plano da Bacia do Piranhas-Açu (PPA) e as calculadas pelo Projeto de Integração do São Francisco (PISF). As vazões diferem de 4% para Q₉₀ ; 8%, para Q₉₅ e apenas 0,6% para Q₉₉.

As vazões calculadas pelo PPA e PERH-PB para a vazão $Q_{90\%}$ são praticamente idênticas, com diferença de apenas 1,5%.

2.3.4.4. Vazões Regularizadas do Açude Saco

O açude Saco fica localizado na sub-bacia do Piancó. É o terceiro maior reservatório da Paraíba e o quarto da bacia do Piranhas-Açu. A **Figura 2.35** apresenta a localização do açude Saco no município de Nova Olinda, na Paraíba.

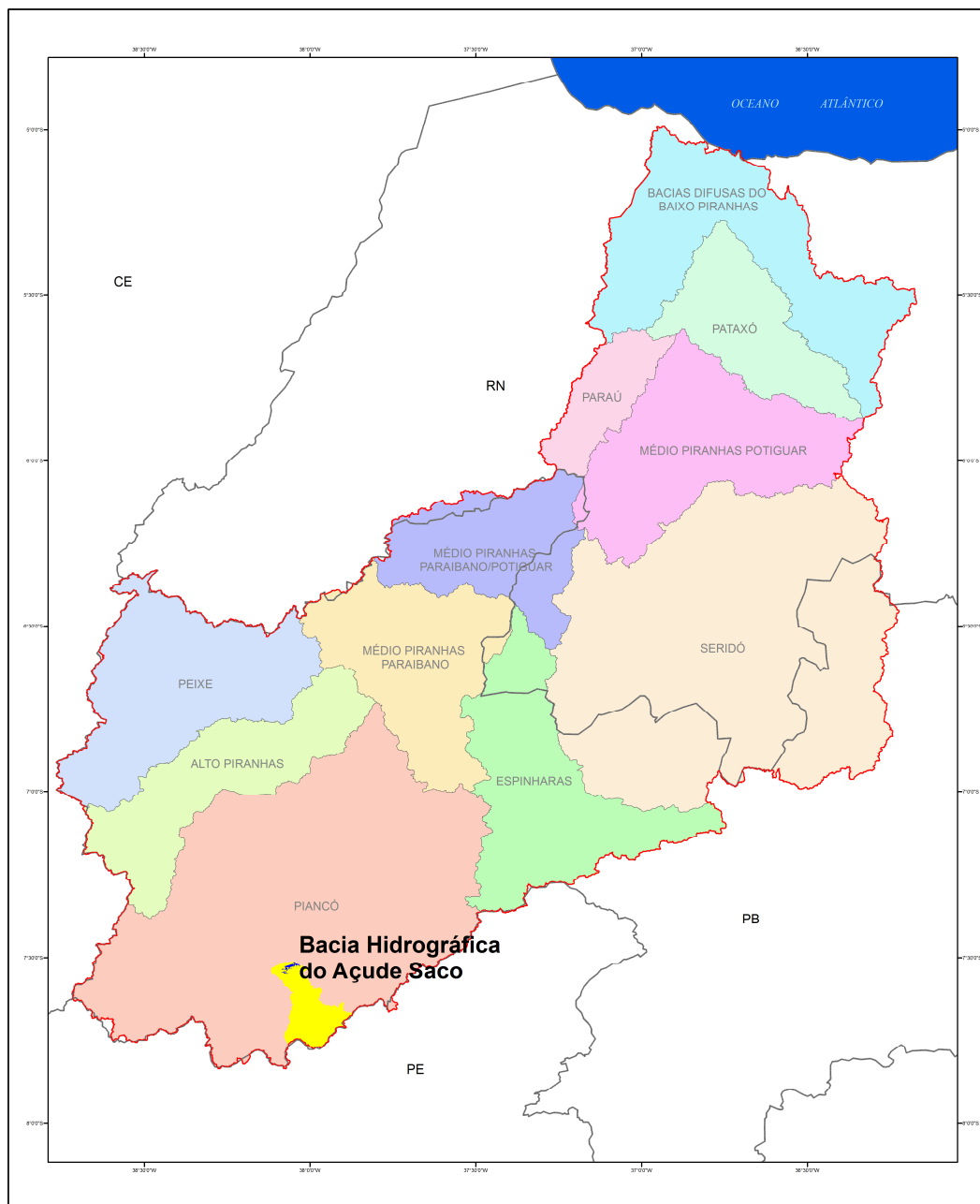


Figura 2.. Localização do açude Saco-PB.

A **Figura 2.36** apresenta as curvas de regularização de vazão para o açude Saco. A **Tabela 2.30** apresenta as vazões regularizadas.

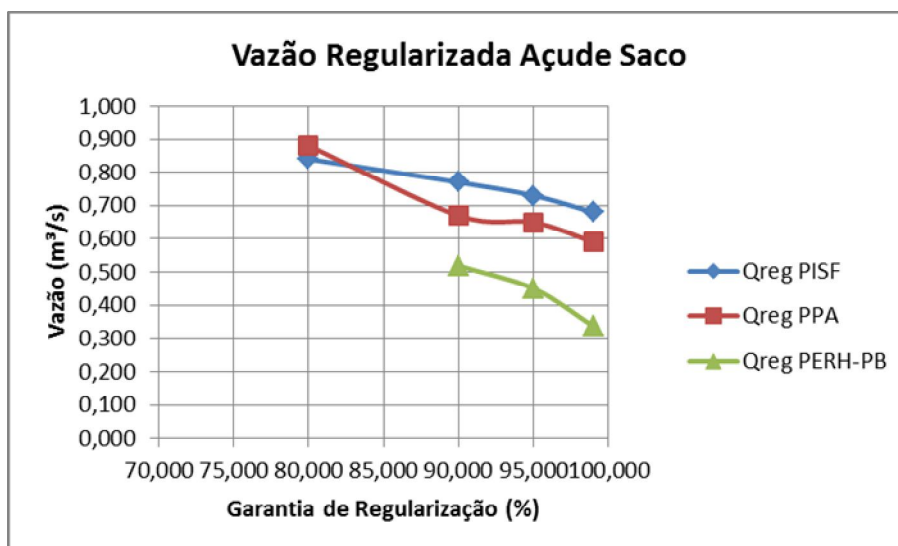


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas para o açude Saco-PB.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Saco

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			97.488.089
Bacia Hidrográfica (km²)			360
Bacia Hidráulica (ha)			640,77
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,67	0,77	0,519
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,65	0,73	0,450
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,59	0,68	0,336
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	911,47	820,9	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	125,41	110,7	Sem dado
Coeficiente de Escoamento (%)	13,76	13,5	Sem dado

As vazões regularizadas do Açude Saco resultaram um pouco inferiores às calculadas pelo Projeto de Integração do São Francisco, cerca de 10% em média, que podem ser justificadas pela diferença de curva Cota x Área x Volume utilizada entre os dois estudos. A curva CAV atual do Plano da Bacia do Piranhas-Açu foi fornecida pela AESA-PB, e é atualizada. As vazões oriundas do PERH-PB/05 são as mais baixas.

2.3.4.5. Vazões Regularizadas do Açude Lagoa do Arroz

O açude Lagoa do Arroz fica localizado na sub-bacia do Peixe, no município de Cajazeiras-PB. A **Figura 2.37** mostra a localização do açude.

A **Figura 2.38** apresenta a curva de vazões regularizadas do açude Lagoa do Arroz. A **Tabela 2.31** apresenta as vazões regularizadas.

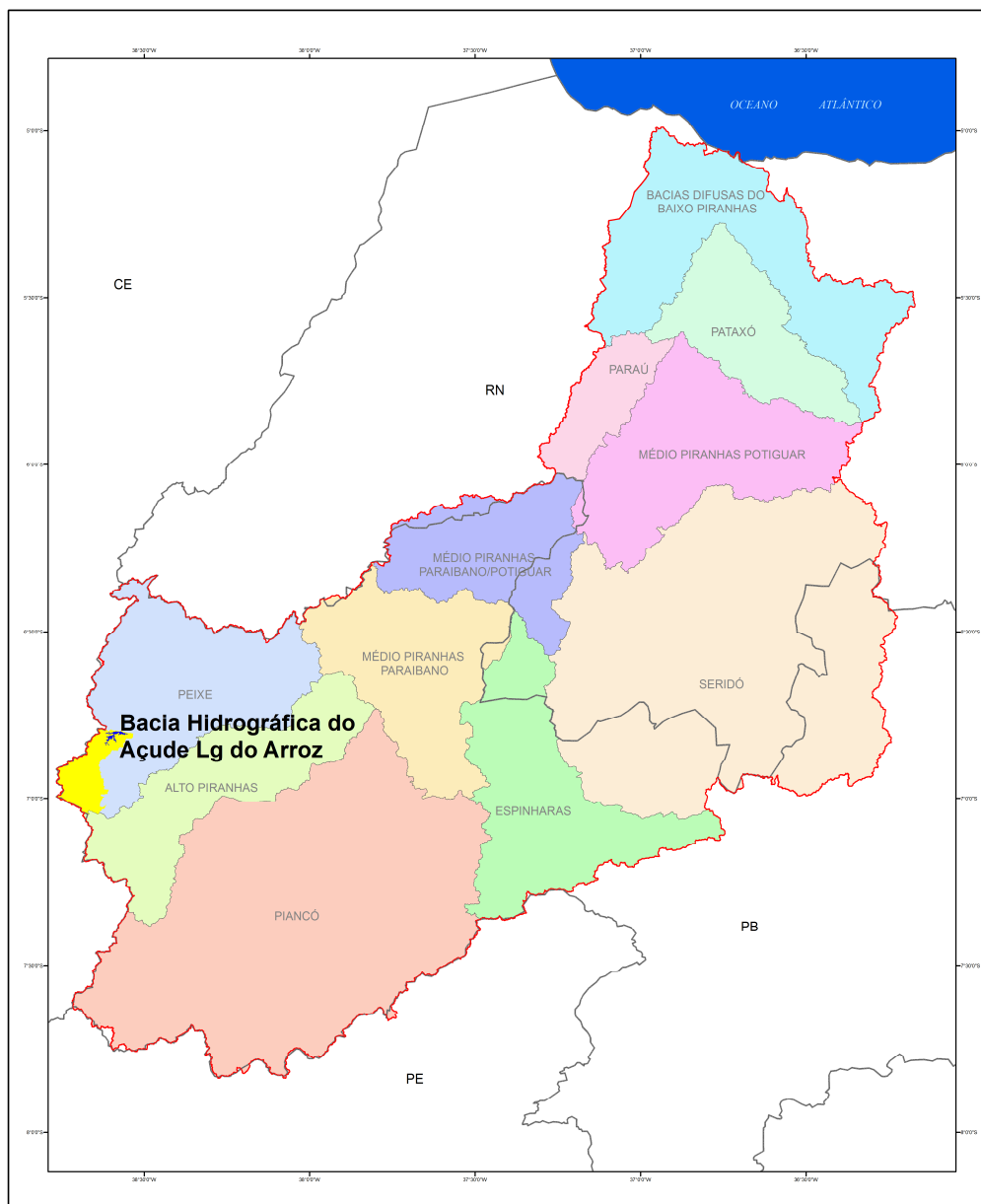


Figura 2.. Localização do Açude Lagoa do Arroz, em Cajazeiras-PB.

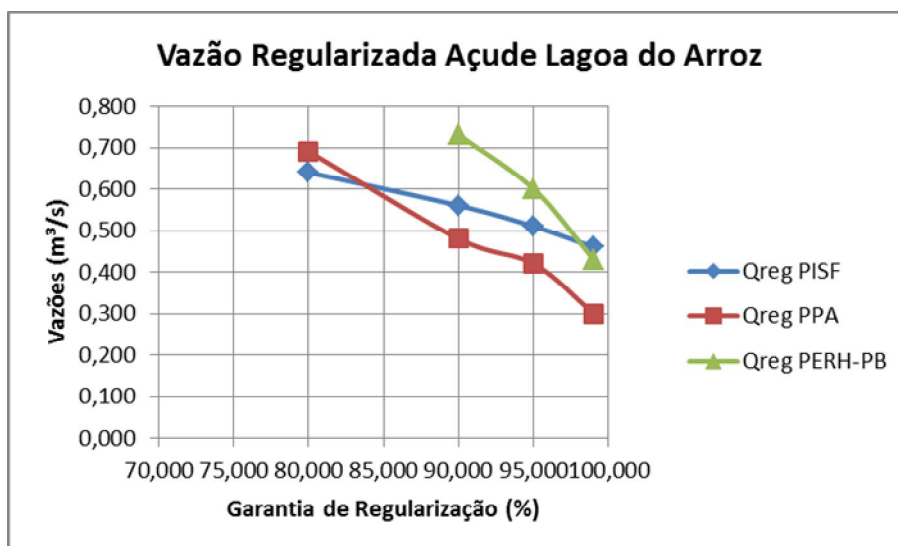


Figura 2.. Curva de vazões regularizadas para o açude Lagoa do Arroz.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Lagoa do Arroz
Características Gerais

Capacidade de Acumulação (m³)	80.220.750		
Bacia Hidrográfica (km²)	327		
Bacia Hidráulica (ha)	1228,40		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,48	0,56	0,73
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,42	0,51	0,60
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,30	0,46	0,43
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	833,07	881,2	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	103,48	136,3	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	12,42	15,5	Sem dado

2.3.4.6. Vazões Regularizadas do Açude Cachoeira dos Cegos

O açude Cachoeira dos Cegos fica localizado na sub-bacia Piancó, no município de Catingueira, no Estado da Paraíba. A **Figura 2.39** apresenta a localização do açude. A

Figura 2.40 apresenta as curvas de vazão regularizadas. A Tabela 2.32 apresenta as vazões regularizadas.

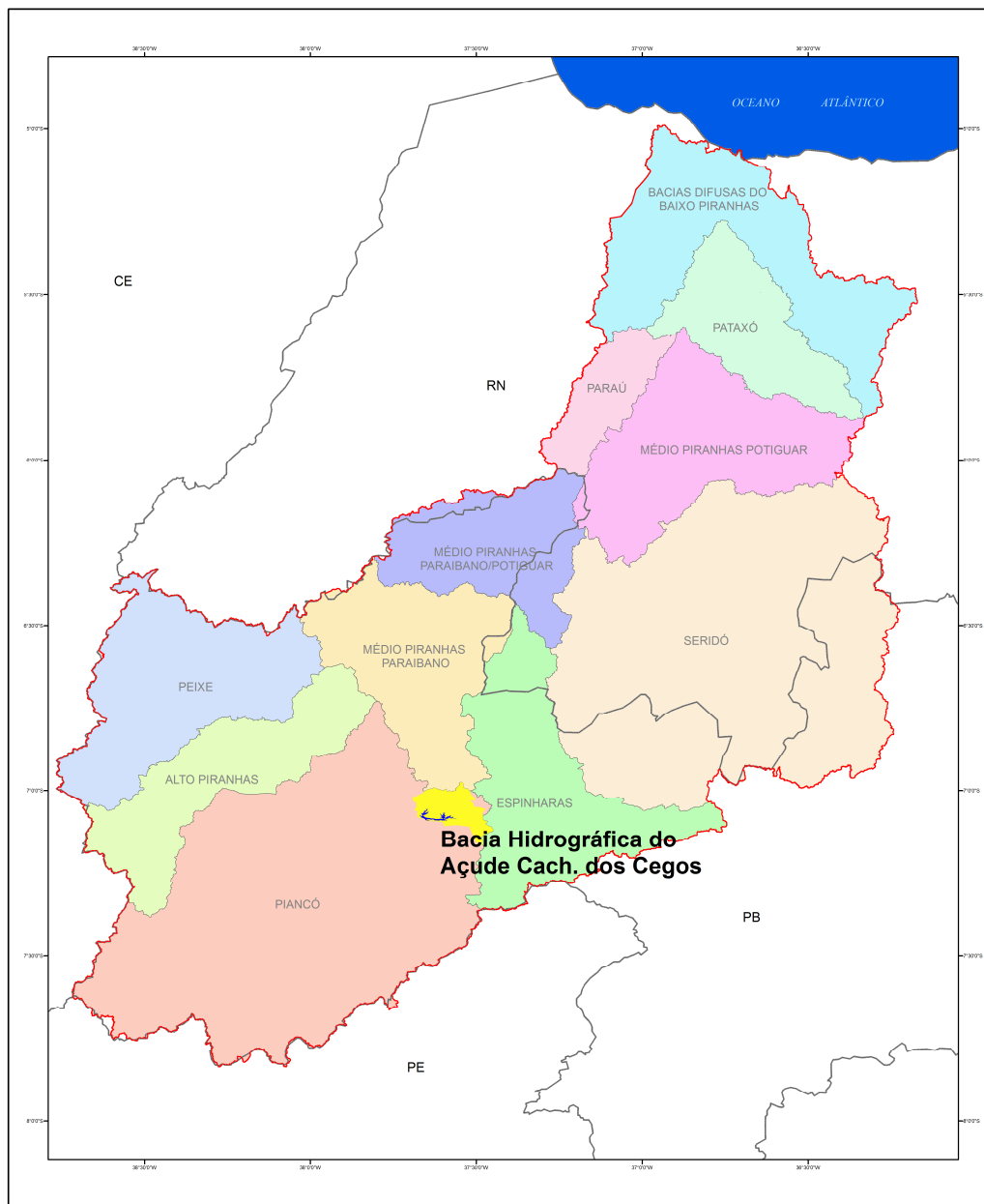


Figura 2.. Localização do açude Cachoeira dos Cegos, em Catingueira-PB.

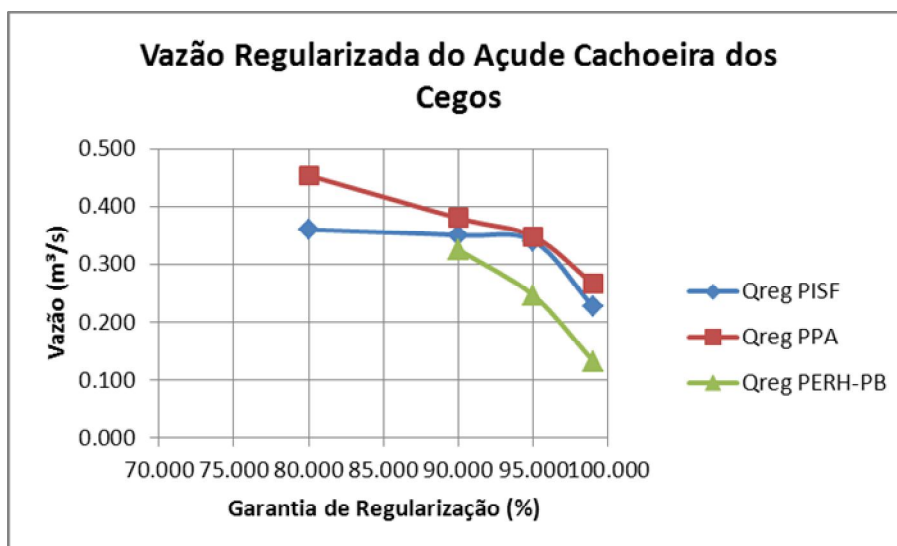


Figura 2.. Curva de vazões regularizadas para o açude Cachoeira dos Cegos.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Cachoeira dos Cegos
Características Gerais

Capacidade de Acumulação (m³)			80.000.000
Bacia Hidrográfica (km²)			236
Bacia Hidráulica (ha)			1.165
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,38	0,350	0,325
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,35	0,340	0,246
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,26	0,226	0,132
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	1.017,3	843,5	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	274,87	136,0	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	27,03	16,1	Sem dado

2.3.4.7. Vazões Regularizadas do Açude Jenipapeiro (Buiú)

O açude Jenipapeiro fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Olho d'Água, no Estado da Paraíba. A **Figura 2.41** mostra a localização do açude. A **Figura 2.42** mostra a curva de vazão regularizada. A **Tabela 2.33** apresenta as vazões regularizadas.

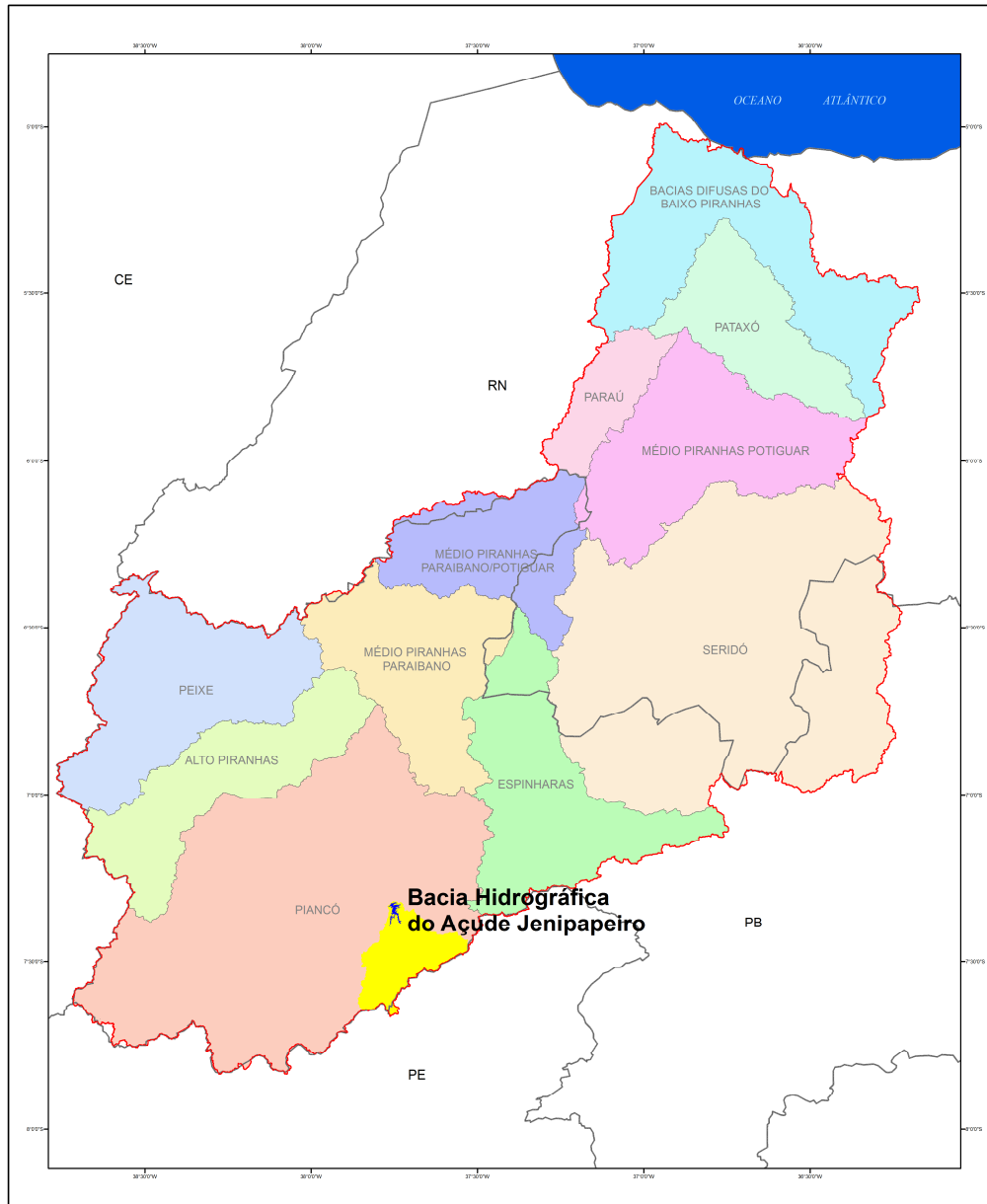


Figura 2.. Localização do açude Jenipapeiro, em Olho d'Água-PB.

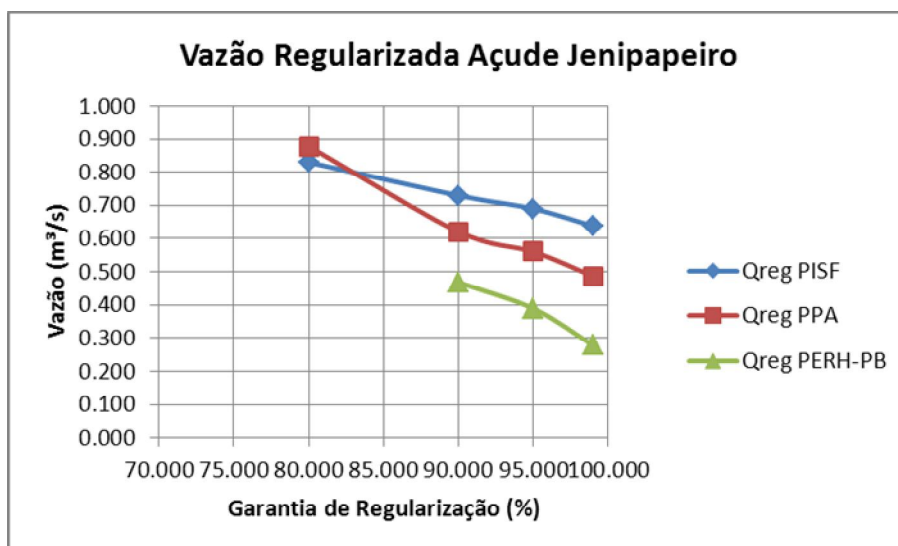


Figura 2.. Curva de vazão regularizada do açude Jenipapeiro.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Jenipapeiro

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)	70.757.250		
Bacia Hidrográfica (km²)	645		
Bacia Hidráulica (ha)	692,65		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,62	0,730	0,468
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,56	0,690	0,389
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,48	0,638	0,278
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	879,93	715,0	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	109,55	104,4	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	12,45	14,6	Sem dado

2.3.4.8. Vazões Regularizadas do Açude Capoeira

O açude Capoeira fica localizado na sub-bacia do Espinharas, no município de Mãe d'Água, no Estado da Paraíba. A **Figura 2.43** mostra a localização do açude. A **Figura 2.44** mostra a curva de vazão regularizada. A **Tabela 2.34** apresenta as vazões regularizadas.

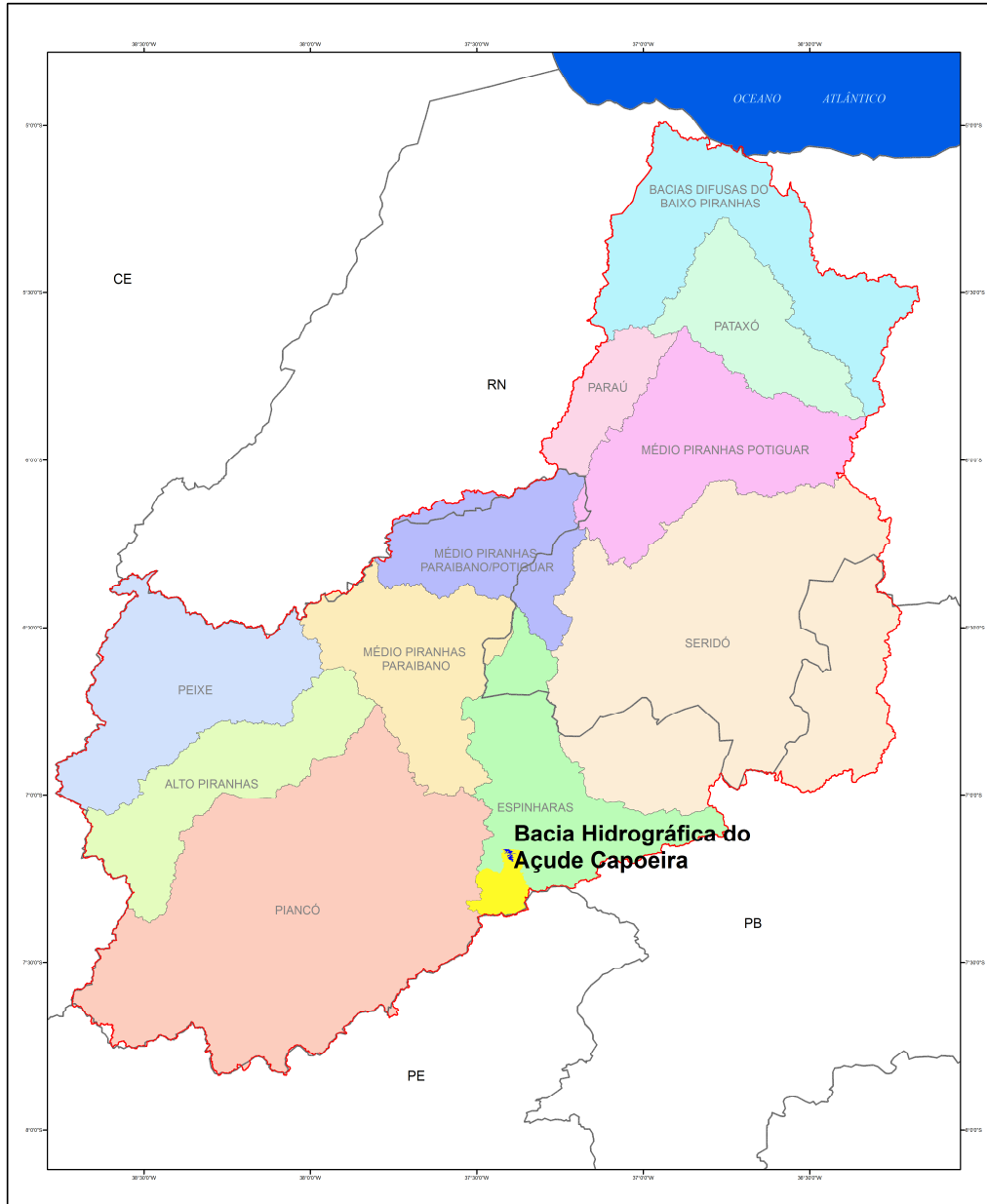


Figura 2.. Localização do açude Capoeira, em Mãe d'Água-PB.

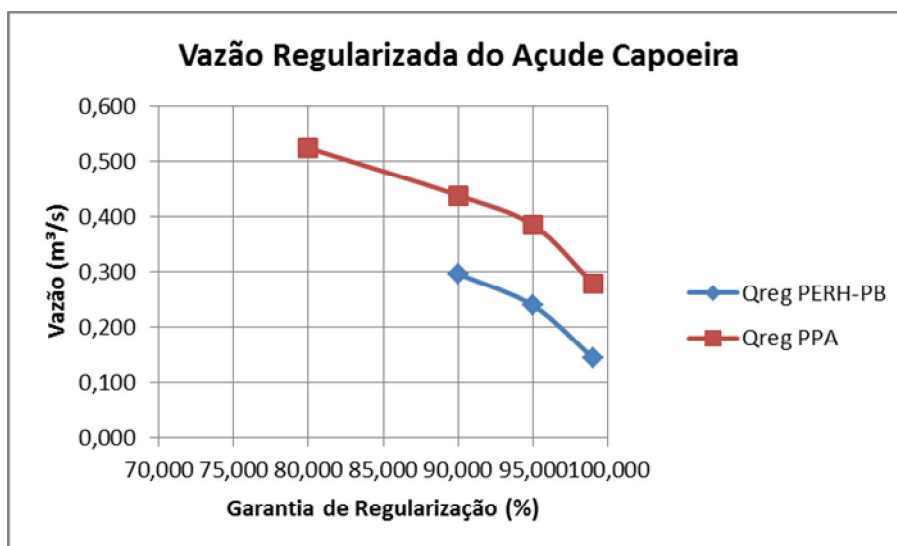


Figura 2.. Curva de vazões regularizadas do açude Capoeira.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Capoeira

Características Gerais		
Capacidade de Acumulação (m³)		53.450.000
Bacia Hidrográfica (km²)		287,74
Bacia Hidráulica (ha)		636,83
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,438	0,296
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,384	0,238
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,278	0,143
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Precipitação Média na Bacia (mm)	854,58	Sem Informação
Deflúvio Médio (mm)	163,81	Sem Informação
Coeficiente de Escoamento (%)	19,17	Sem Informação

O açude Capoeira não foi estudado no âmbito do Projeto de Integração do São Francisco. As vazões regularizadas para comparação são do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba, elaborado em 2005. As vazões calculadas no PPA estão superiores às calculadas no PERH-PB/05.

2.3.4.9. Vazões Regularizadas do Açude São Gonçalo

O açude São Gonçalo fica localizado na sub-bacia do Alto Piranhas, no município de Souza, Estado da Paraíba. A **Figura 2.45** mostra a localização do açude. A **Figura 2.46** mostra a curva de vazão regularizada. A **Tabela 2.35** apresenta as vazões regularizadas.

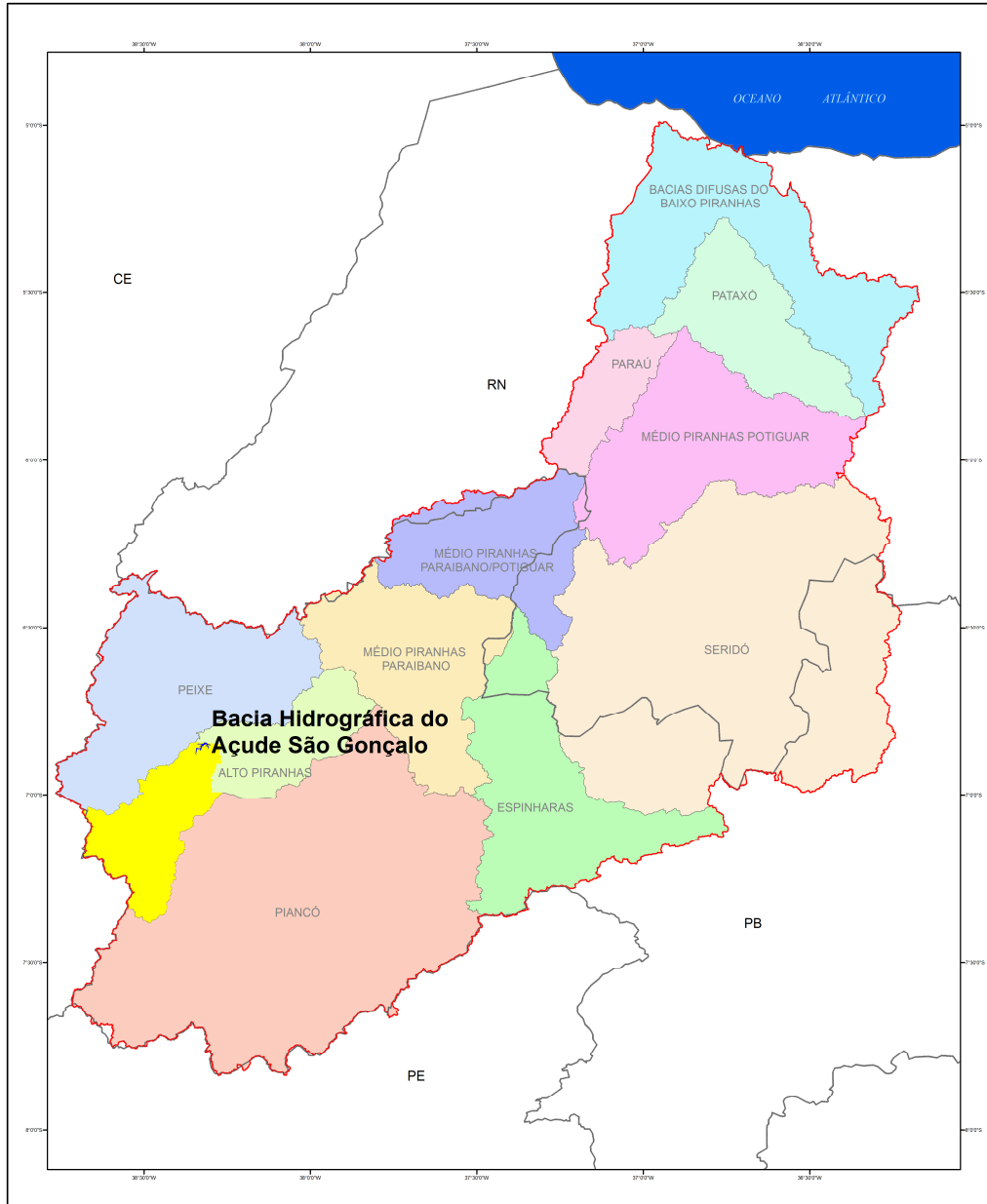


Figura 2.. Localização do açude São Gonçalo, em Souza-PB.

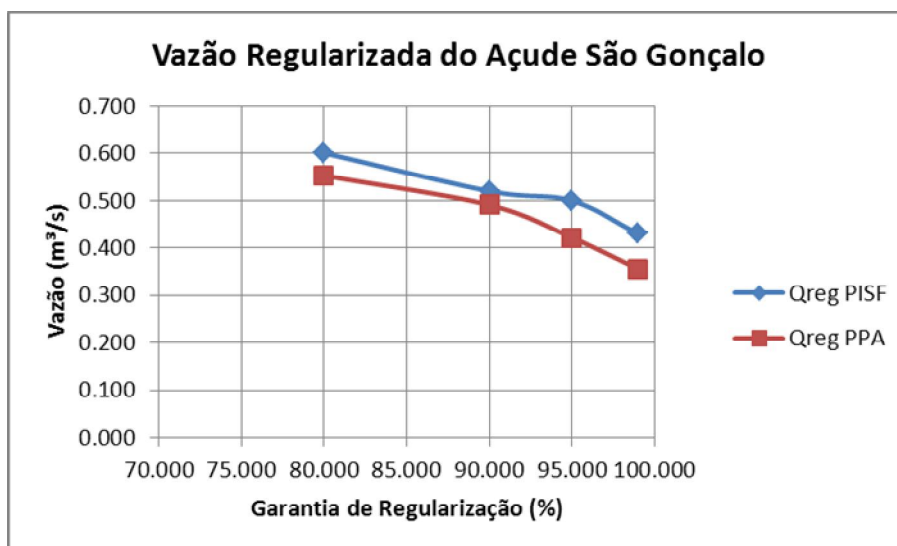


Figura 2.. Curva de vazões regularizadas do açude São Gonçalo.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude São Gonçalo

Características Gerais		
Capacidade de Acumulação (m³)		44.600.000
Bacia Hidrográfica (km²)		315
Bacia Hidráulica (ha)		700
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,491	0,520
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,422	0,500
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,356	0,430
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco
Precipitação Média na Bacia (mm)	907,27	884,6
Deflúvio Médio (mm)	138,63	134,9
Coefficiente de Escoamento (%)	15,28	15,2

2.3.4.10. Vazões Regularizadas do Açude Baião

O açude Baião fica localizado na sub-bacia do Médio Piranhas Paraibano-Potiguar, no município de São José do Brejo do Cruz, no Estado da Paraíba. A **Figura 2.47** mostra a localização do açude. A **Figura 2.48** mostra a curva de regularização. A **Tabela 2.36** apresenta as vazões regularizadas.

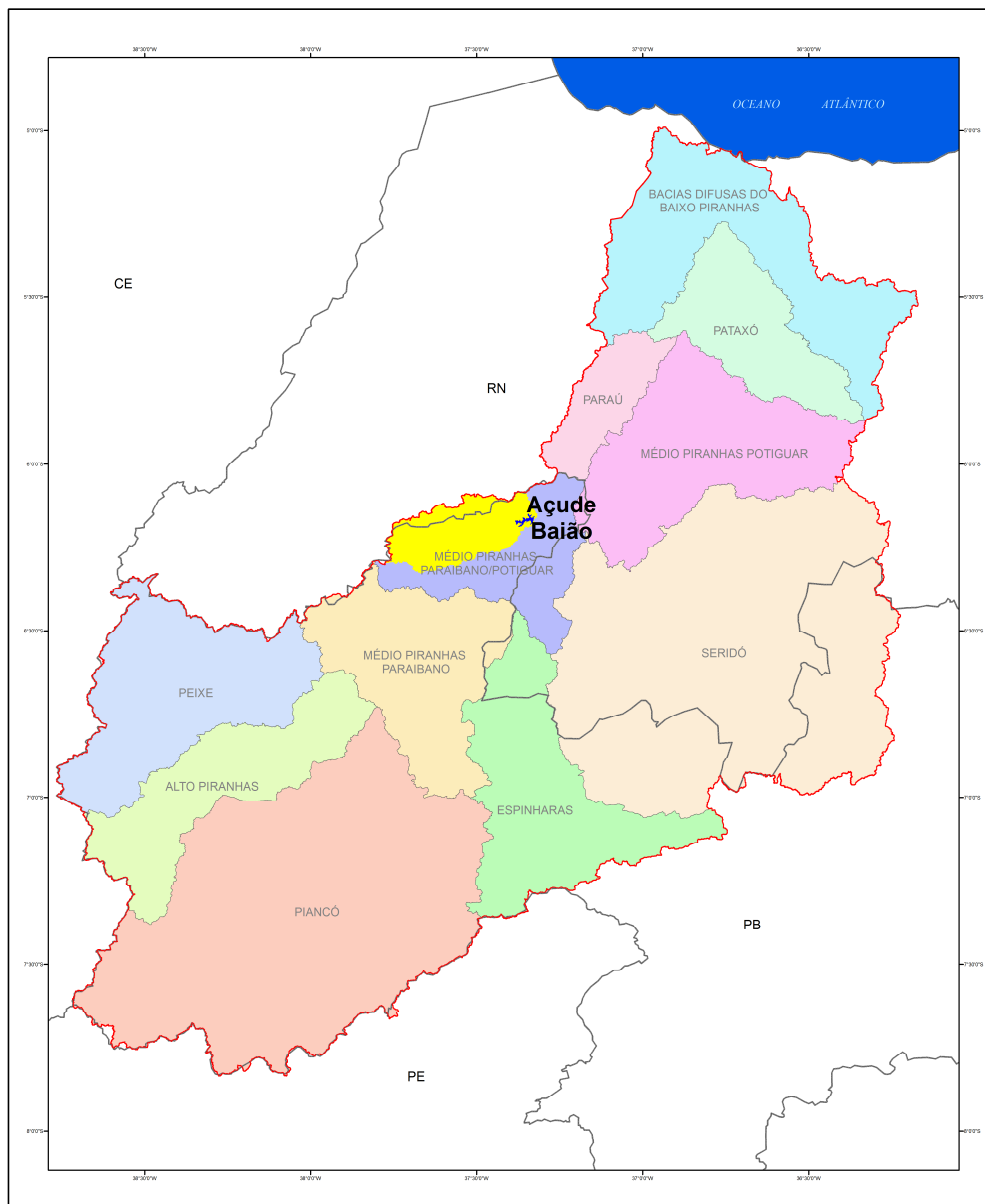


Figura 2.. Localização do açude Baião, em São José do Brejo do Cruz-PB.

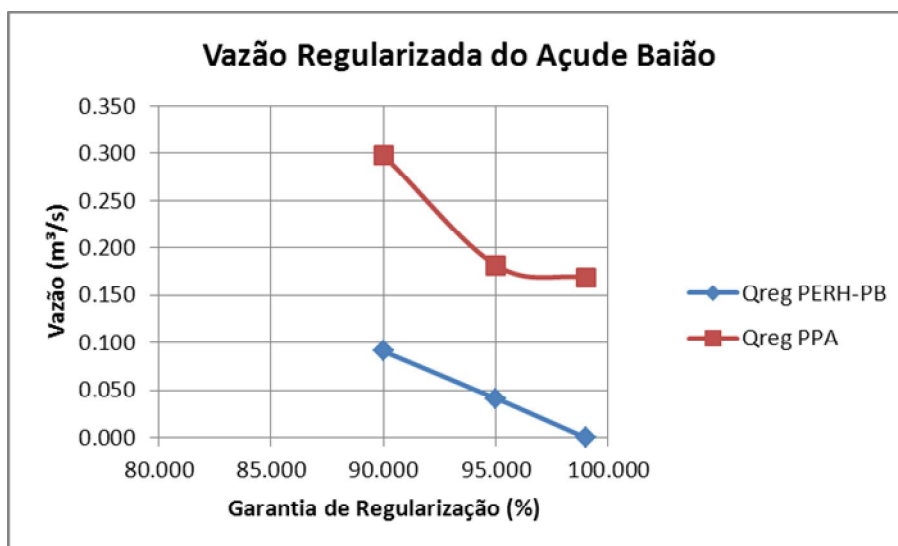


Figura 2.. Curva de vazões regularizadas do açude Baião.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Baião

Características Gerais		
Capacidade de Acumulação (m³)		39.200.000
Bacia Hidrográfica (km²)		399,91
Bacia Hidráulica (ha)		722,50
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,298	0,091
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,182	0,041
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,169	0,000
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Precipitação Média na Bacia (mm)	851,99	Sem informação
Deflúvio Médio (mm)	128,37	Sem informação
Coefficiente de Escoamento (%)	15,07	Sem informação

2.3.4.11. Vazões Regularizadas do Açude Bruscas

O açude Bruscas fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Curral Velho, no Estado da Paraíba. A **Figura 2.49** mostra a localização do açude. A **Figura 2.50** mostra as curvas de regularização do açude Bruscas. A **Tabela 2.37** apresenta as vazões regularizadas.

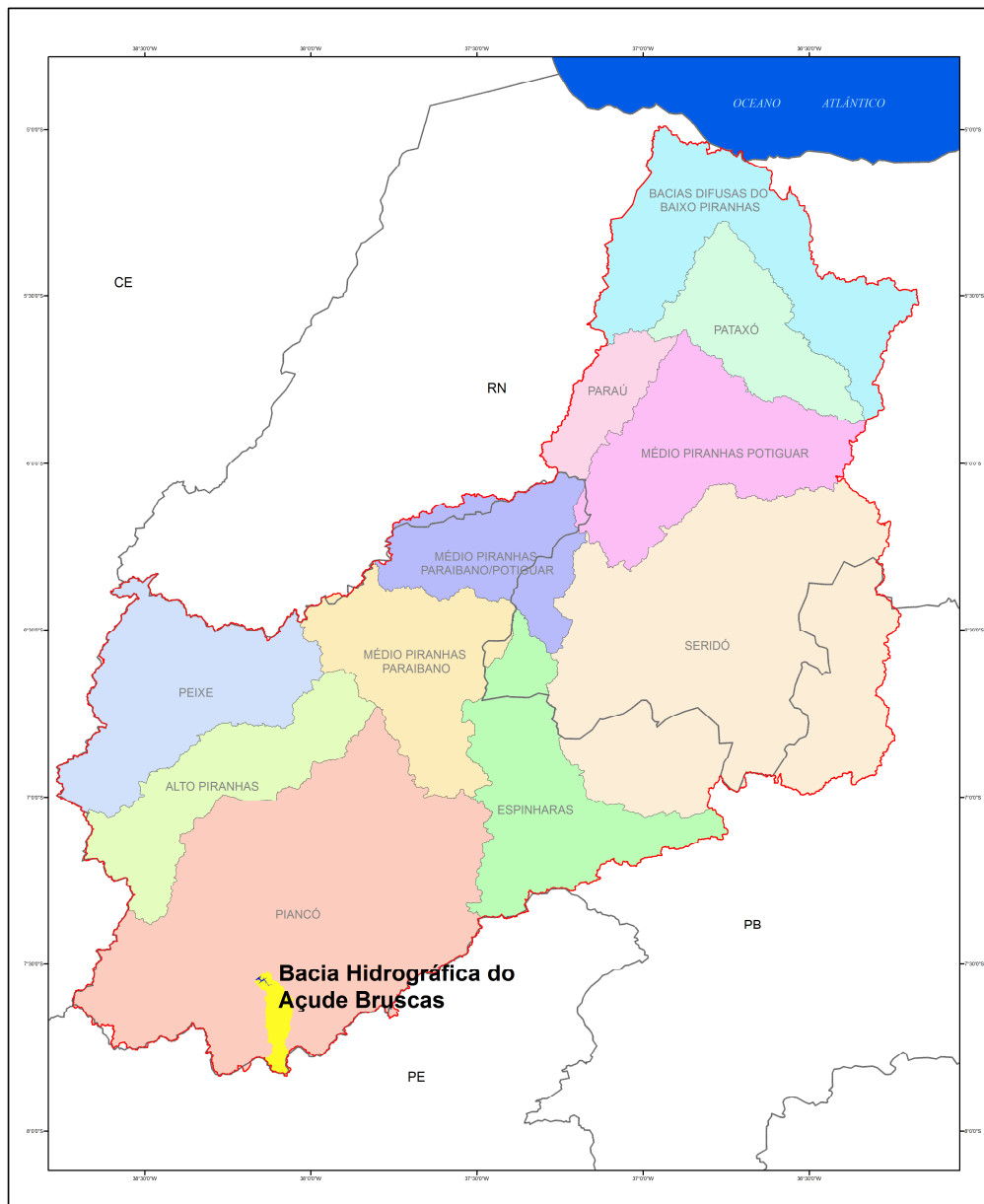


Figura 2.. Localização do açude Bruscas, em Curral Velho-PB.

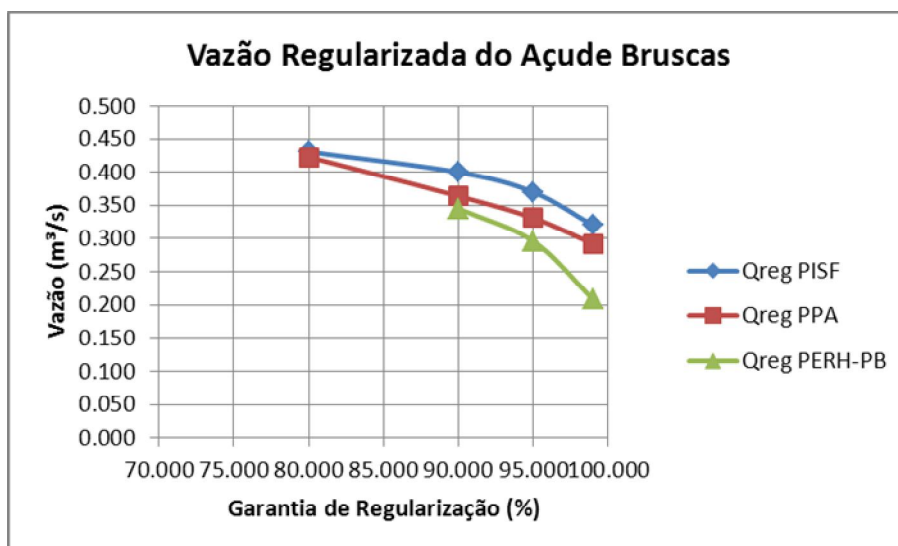


Figura 2.. Curva de vazões regularizadas do açude Bruscas.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Bruscas

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			38.206.463
Bacia Hidrográfica (km²)			223,50
Bacia Hidráulica (ha)			306,26
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,364	0,400	0,345
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,331	0,370	0,296
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,292	0,320	0,208
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	918,33	771,4	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	132,79	93,2	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	14,46	12,1	Sem dado

2.3.4.12. Vazões Regularizadas do Açude Condado

O açude Condado fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Conceição-PB. A **Figura 2.51** mostra a localização do açude. A **Figura 2.52** mostra as curvas regularizadas do açude. A **Tabela 2.38** apresenta as vazões regularizadas.

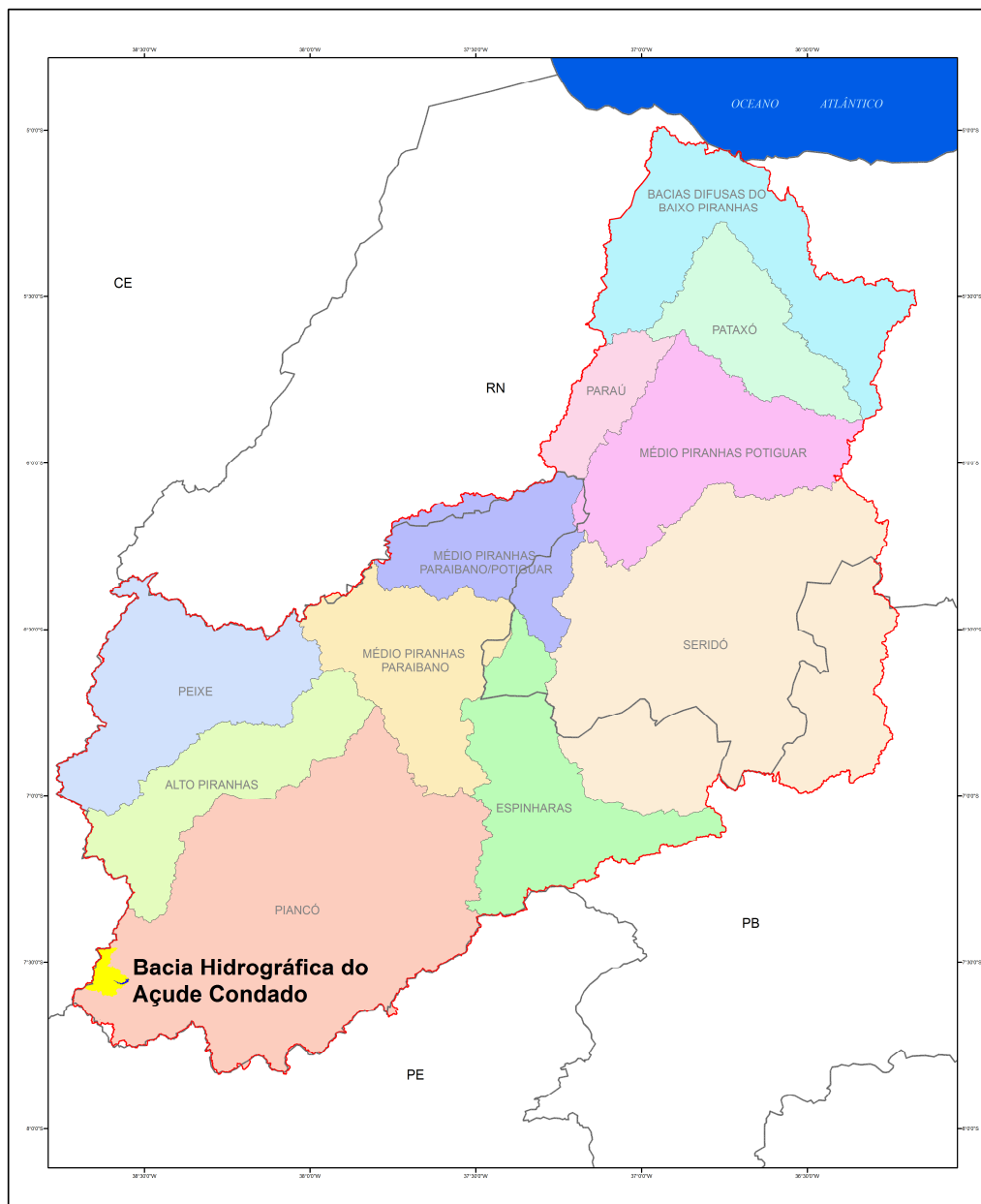


Figura 2.. Localização do açude Condado, em Conceição-PB.

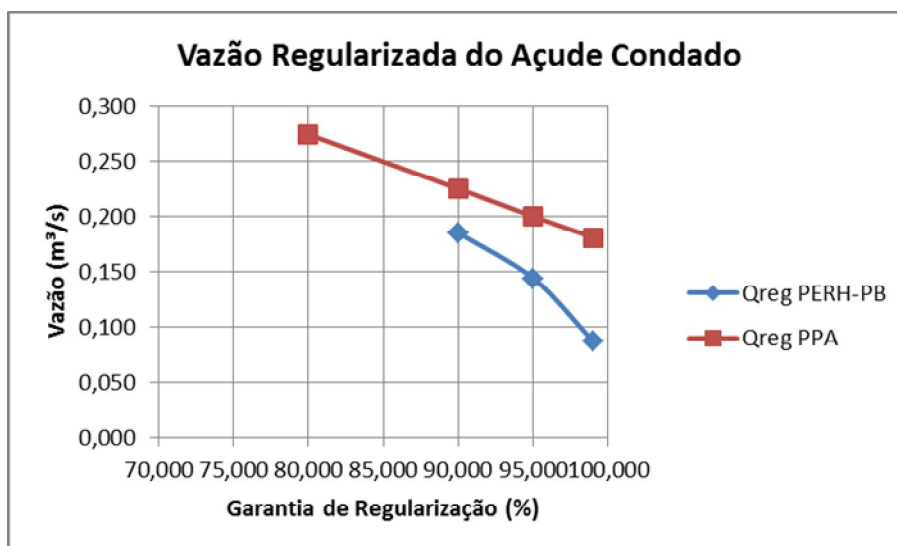


Figura 2.. Curva de vazões regularizadas do açude Condado.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Condado

Características Gerais		
Capacidade de Acumulação (m³)		35.016.000
Bacia Hidrográfica (km²)		117,92
Bacia Hidráulica (ha)		31,0
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,255	0,185
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,200	0,144
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,181	0,087
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Precipitação Média na Bacia (mm)	813,01	Sem informação
Deflúvio Médio (mm)	86,50	Sem Informação
Coeficiente de Escoamento (%)	10,64	Sem informação

2.3.4.13. Vazões Regularizadas do Açude Carneiro

O açude Carneiro fica localizado na sub-bacia do Médio Piranhas-Paraibano, no município de Jericó, no Estado da Paraíba. A **Figura 2.53** mostra a localização do açude. A **Figura 2.54** mostra as curvas de regularização. A **Tabela 2.39** apresenta as vazões regularizadas.

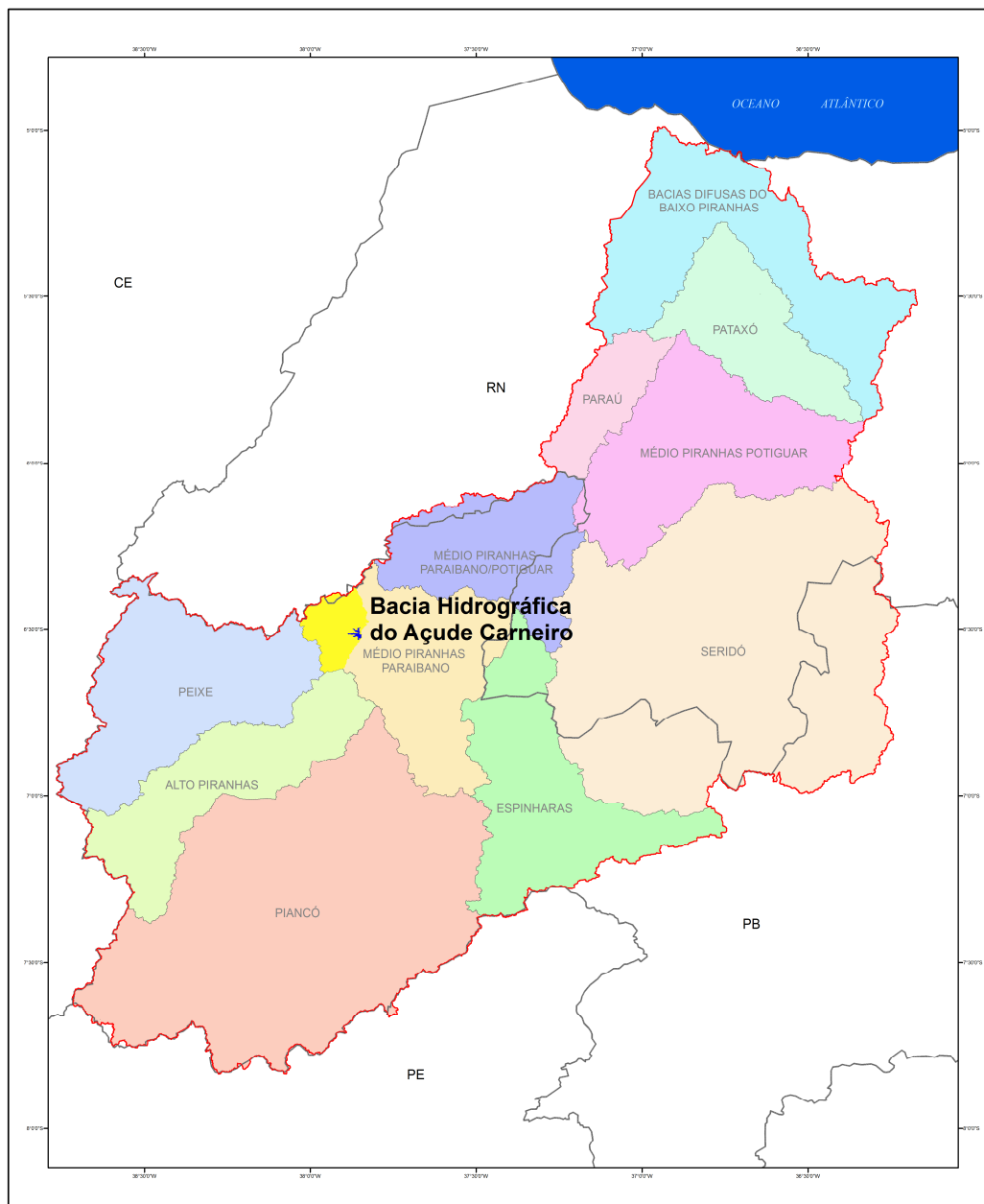


Figura 2.. Localização do açude Carneiro, em Jericó-PB.

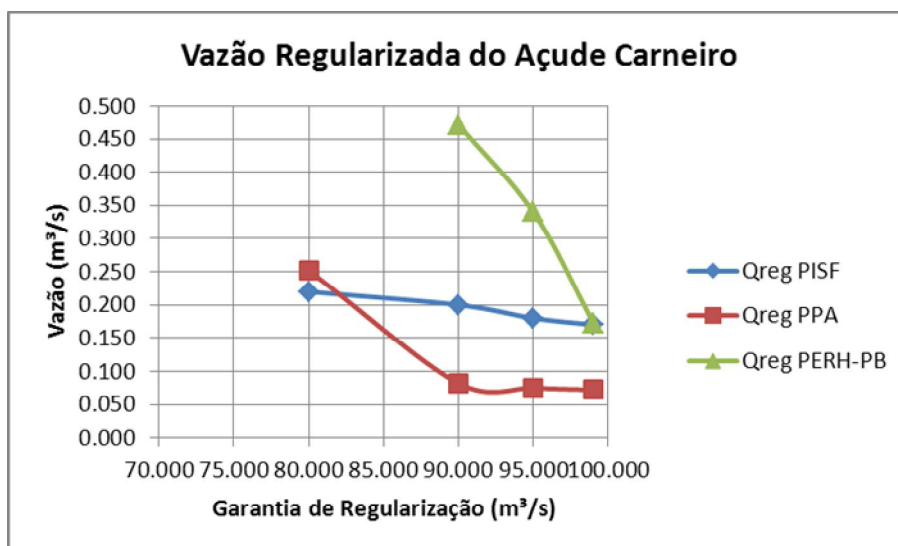


Figura 2.. Curva de vazões regularizadas do açude Carneiro.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Carneiro

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			31.285.875
Bacia Hidrográfica (km²)			341
Bacia Hidráulica (ha)			691,72
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,082	0,200	0,471
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,075	0,180	0,340
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,072	0,170	0,173
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	918,3	753,4	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	80,01	94,7	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	8,71	12,6	Sem dado

2.3.4.14. Vazões Regularizadas do Açude Engenheiro Arcoverde

O açude Engenheiro Arcoverde, também conhecido por Condado, fica localizado na sub-bacia do Médio Piranhas-Paraibano, no município de Condado, no Estado da Paraíba. A

Figura 2.55 mostra a localização do açude. A Figura 2.56 mostra as curvas de vazão regularizada. A Tabela 2.40 apresenta as vazões regularizadas.

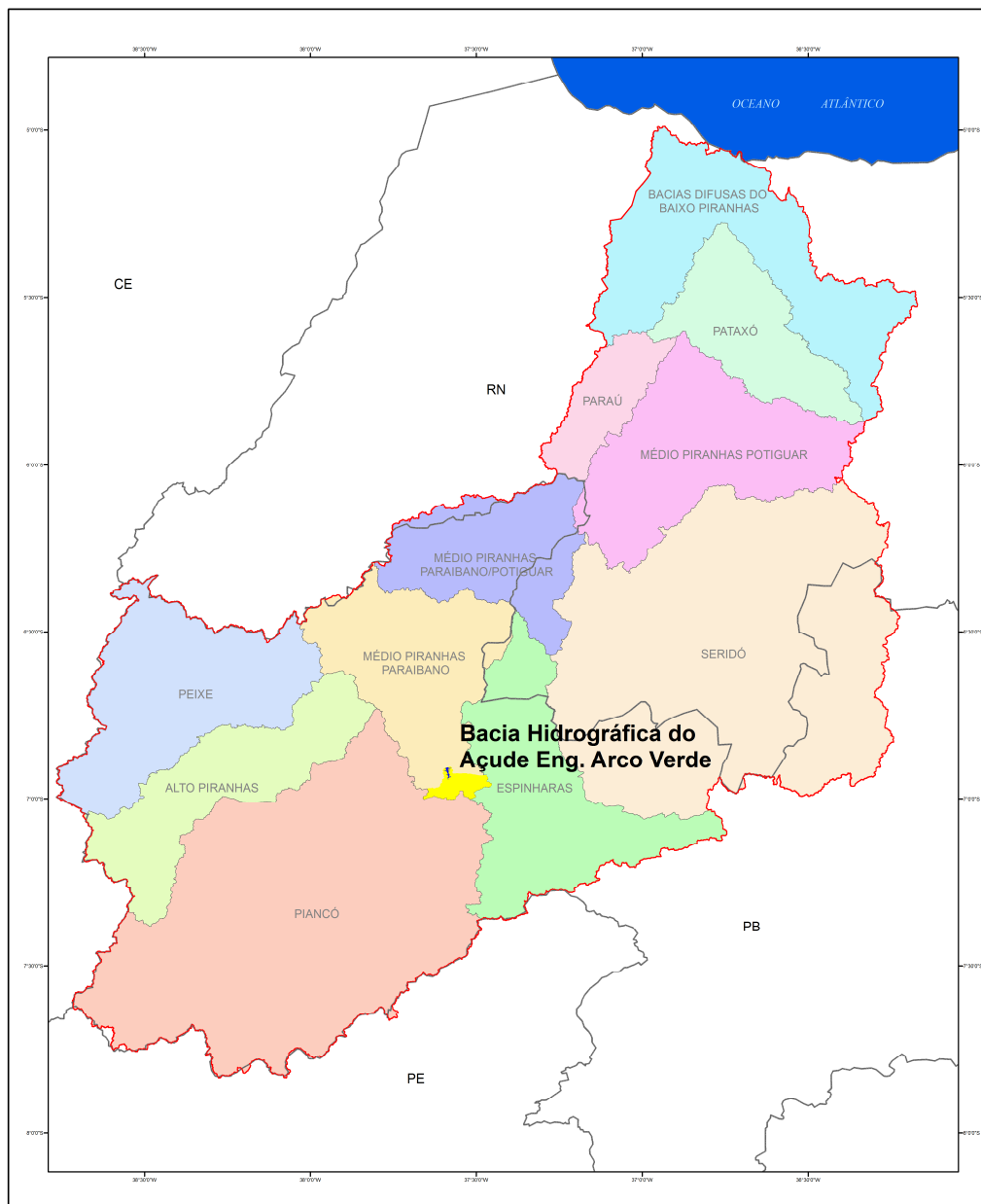


Figura 2.. Localização do açude Engº Arcoverde, em Condado-PB.

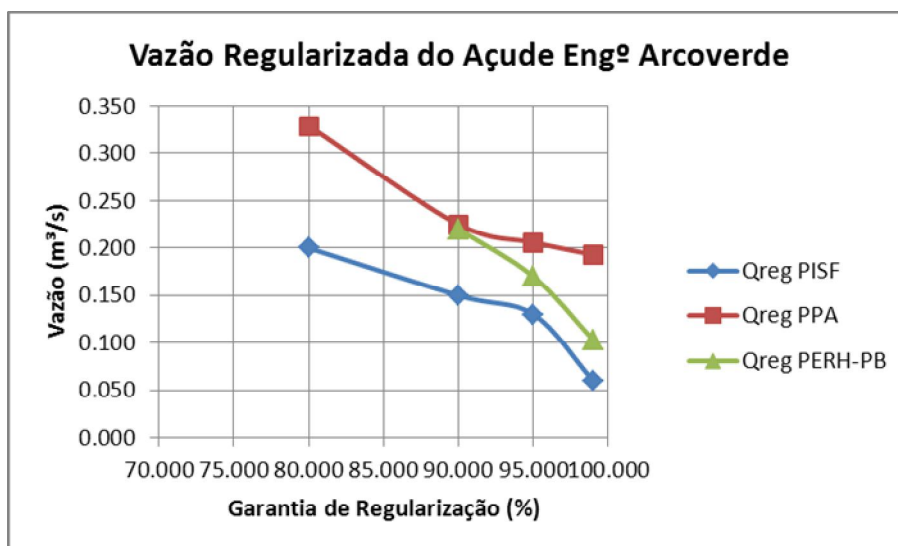


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Engº Arcoverde.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Engº Arcoverde

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)	30.593.400		
Bacia Hidrográfica (km²)	245		
Bacia Hidráulica (ha)	500,22		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,225	0,150	0,220
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,206	0,130	0,170
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,193	0,060	0,103
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	813,01	718,8	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	82,59	88,0	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	10,16	12,2	Sem dado

2.3.4.15. Vazões Regularizadas do Açude Tapera

O açude Tapera fica localizado na sub-bacia do Médio Piranhas Paraibano Potiguar, no município de Belém do Brejo do Cruz, Estado da Paraíba. A **Figura 2.57** mostra a localização

do açude. A **Figura 2.58** mostra a curva de vazões regularizadas. A **Tabela 2.41** apresenta as versões regularizadas.

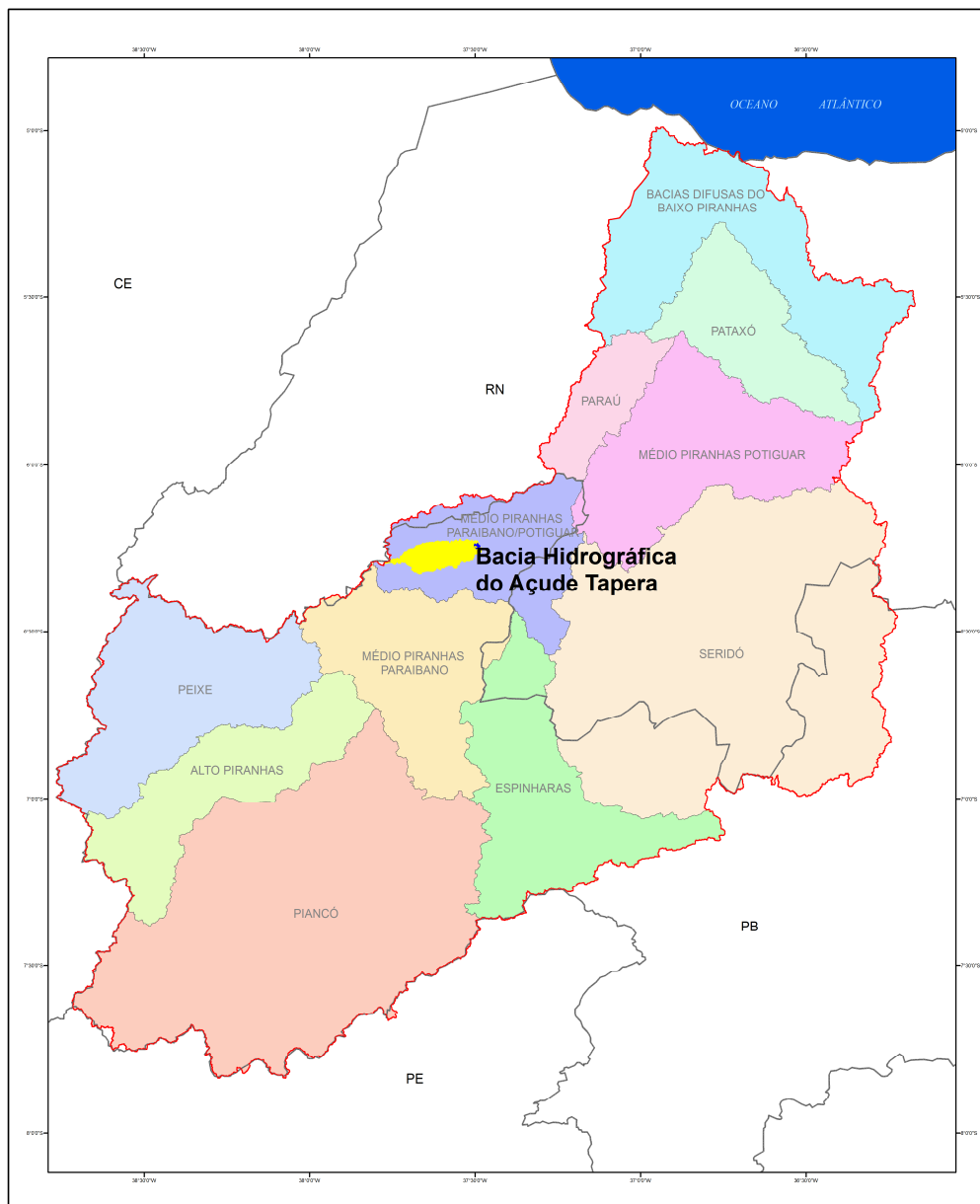


Figura 2.. Localização do açude Tapera, em Belém do Brejo do Cruz-PB.

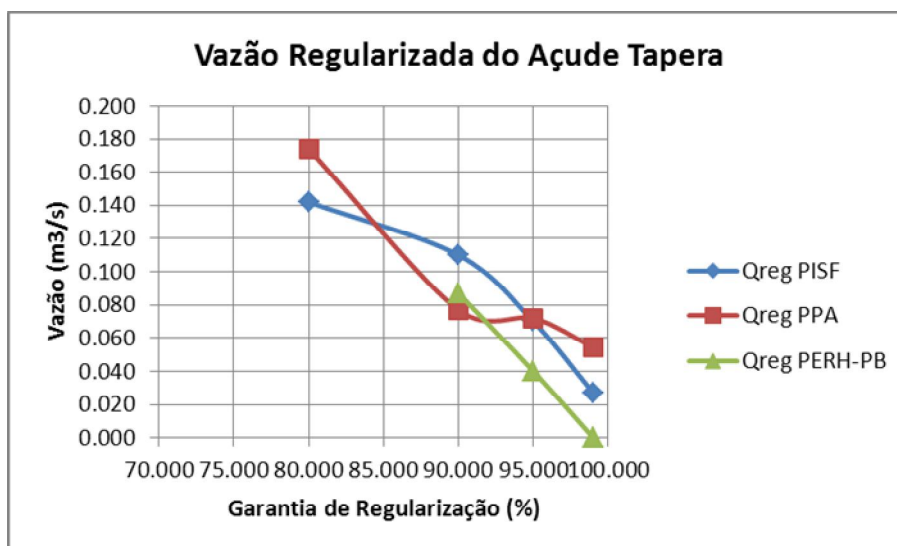


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Tapera

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Tapera

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)	26.418.660		
Bacia Hidrográfica (km²)	215		
Bacia Hidráulica (ha)	69.26		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,077	0,110	0,087
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,072	0,070	0,040
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,055	0,027	0,000
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	802,84	787,6	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	89,44	97,7	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	11,14	12,4	Sem dado

2.3.4.16. Vazões Regularizadas do Açude Santa Inês

O açude Santa Inês fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Conceição, Estado da Paraíba. A **Figura 2.59** mostra a localização do açude. A **Figura 2.60** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.42** apresenta as vazões regularizadas.

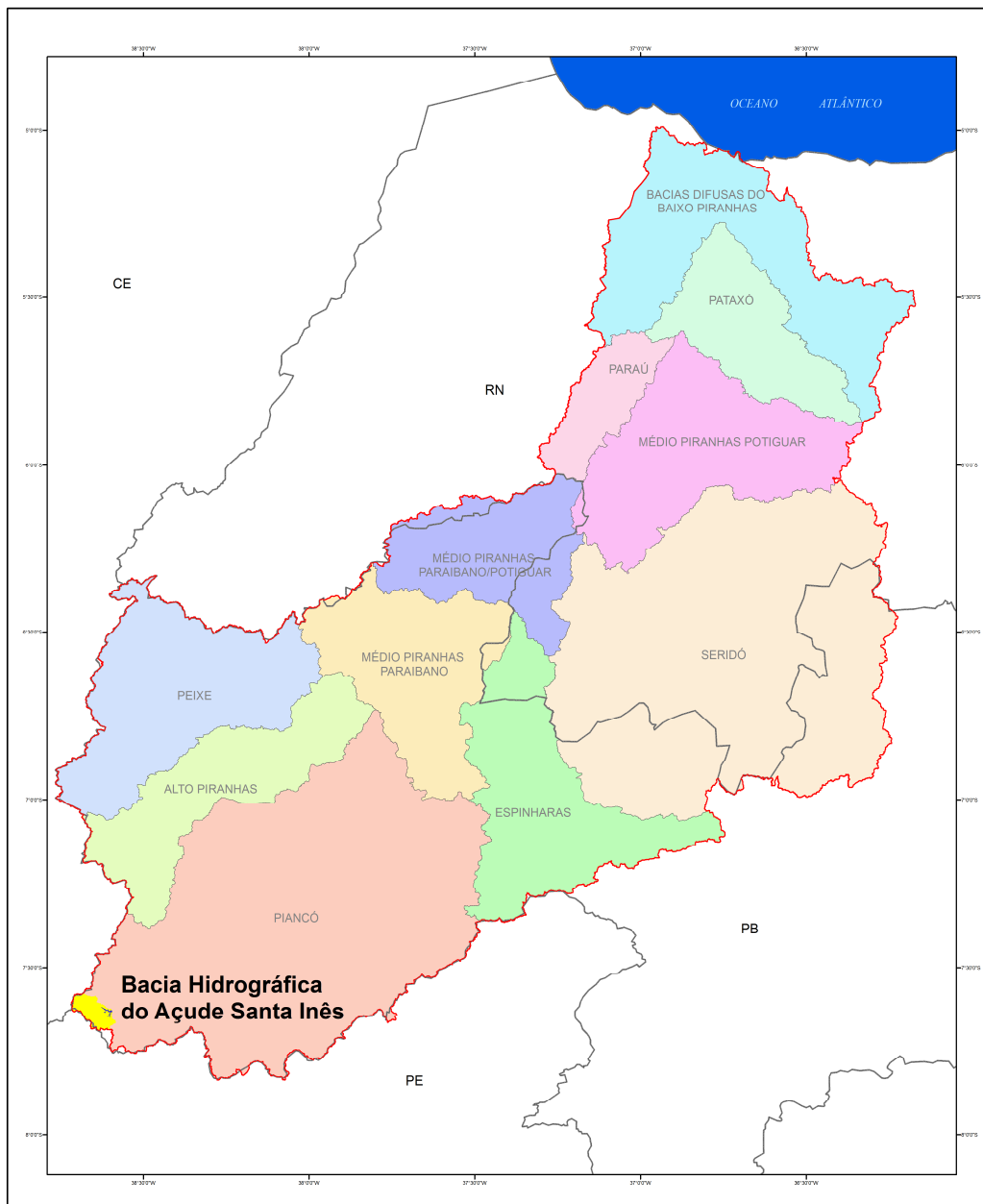


Figura 2.. Localização do açude Santa Inês, em Conceição-PB.

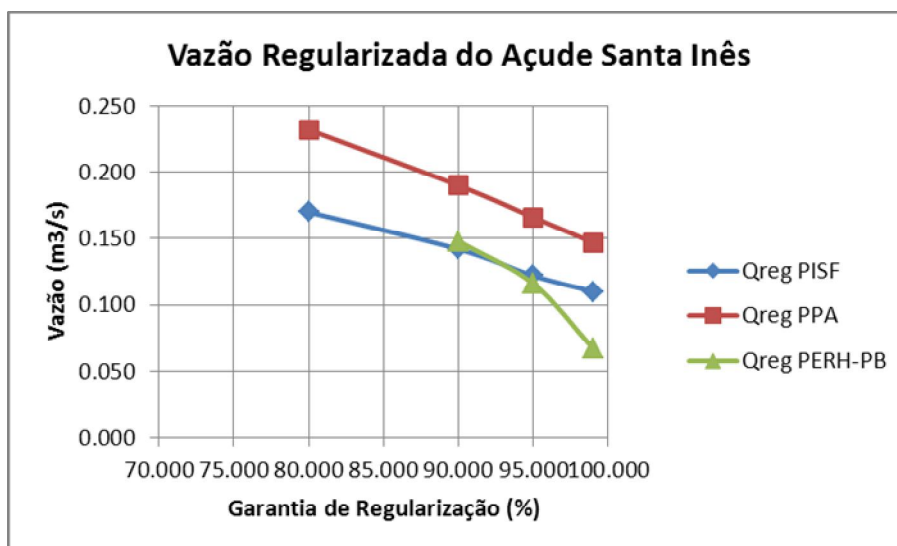


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Santa Inês.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Santa Inês

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			26.115.250
Bacia Hidrográfica (km²)			104,80
Bacia Hidráulica (ha)			259,00
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,190	0,140	0,148
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,166	0,120	0,116
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,147	0,115	0,067
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	813,01	780,0	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	86,50	84,0	Sem dado
Coeficiente de Escoamento (%)	10,64	10,8	Sem dado

2.3.4.17. Vazões Regularizadas do Açude Farinha

O açude Farinha fica localizado na sub-bacia do Espinharas, no município de Patos-PB. A **Figura 2.61** mostra a localização do açude. A **Figura 2.62** mostra as curvas de regularização. A **Tabela 2.43** apresenta as vazões regularizadas.

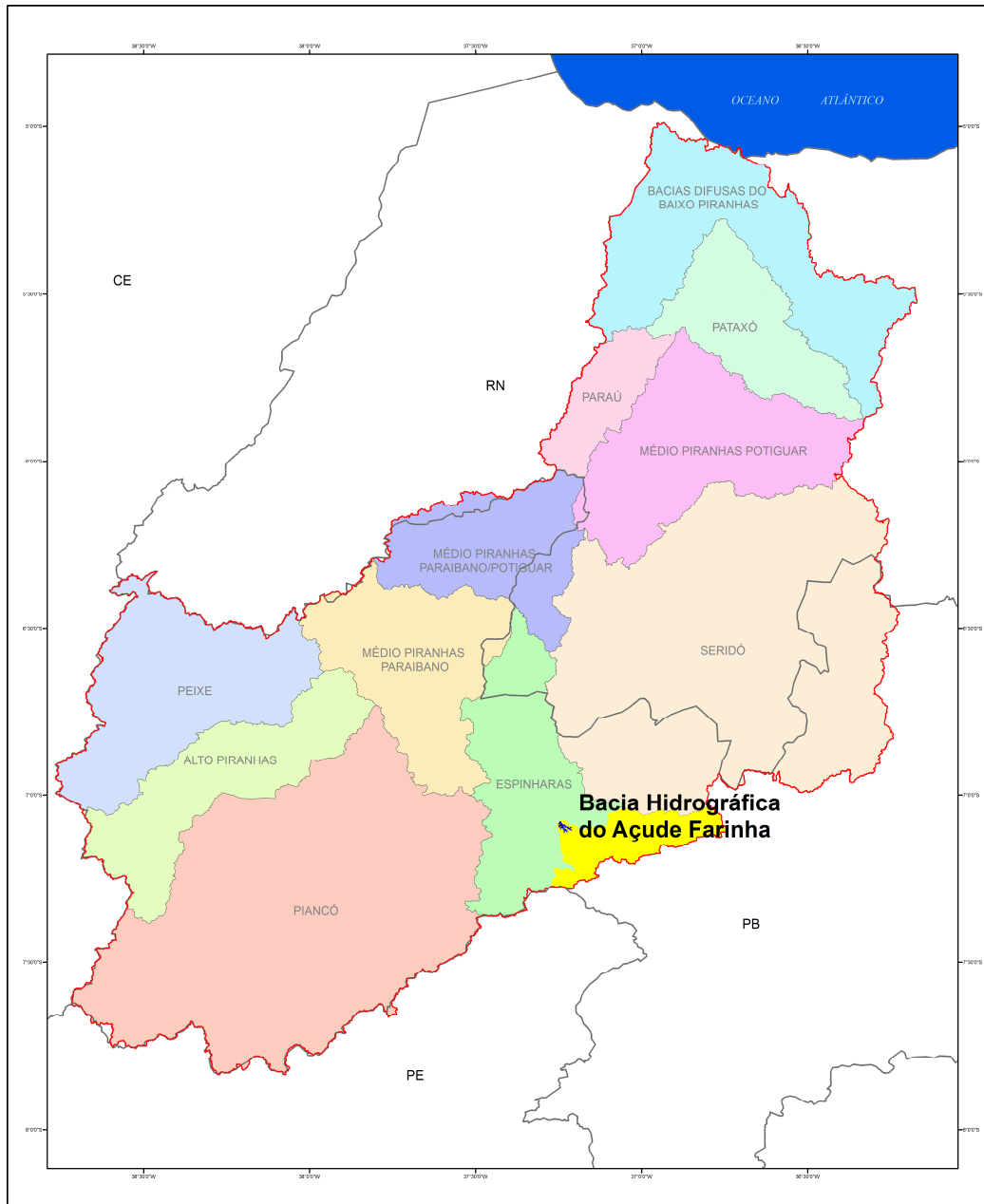


Figura 2.. Localização do açude Farinha, em Patos-PB.

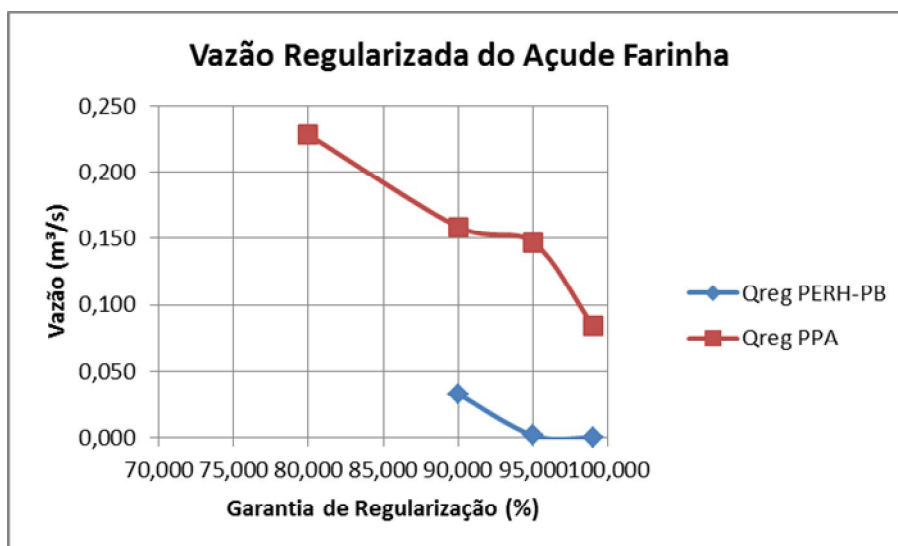


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Farinha.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Farinha

Características Gerais		
Capacidade de Acumulação (m³)		25.738.500
Bacia Hidrográfica (km²)		783,65
Bacia Hidráulica (ha)		733,75
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,159	0,032
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,147	0,001
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,084	0,000
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Precipitação Média na Bacia (mm)	656,29	Sem informação
Deflúvio Médio (mm)	55,88	Sem informação
Coeficiente de Escoamento (%)	8,51	Sem informação

2.3.4.18. Vazões Regularizadas do Açude Piranhas

O açude Piranhas fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Ibiara, Estado da Paraíba. A **Figura 2.63** mostra a localização do açude. A **Figura 2.64** mostra as curvas de regularização de vazão. A **Tabela 2.44** apresenta as vazões regularizadas.

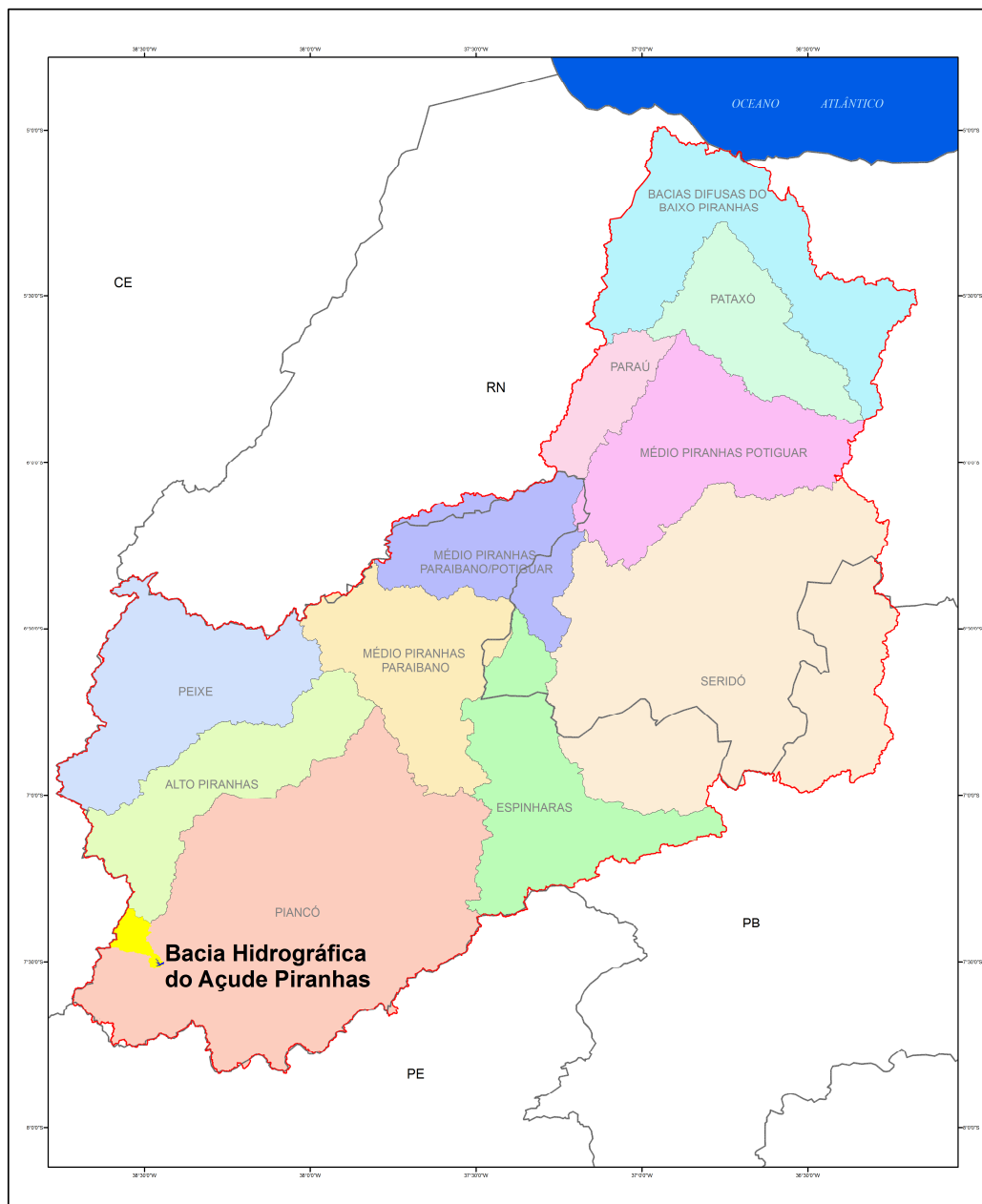


Figura 2.. Localização do açude Piranhas, em Ibiara-PB.

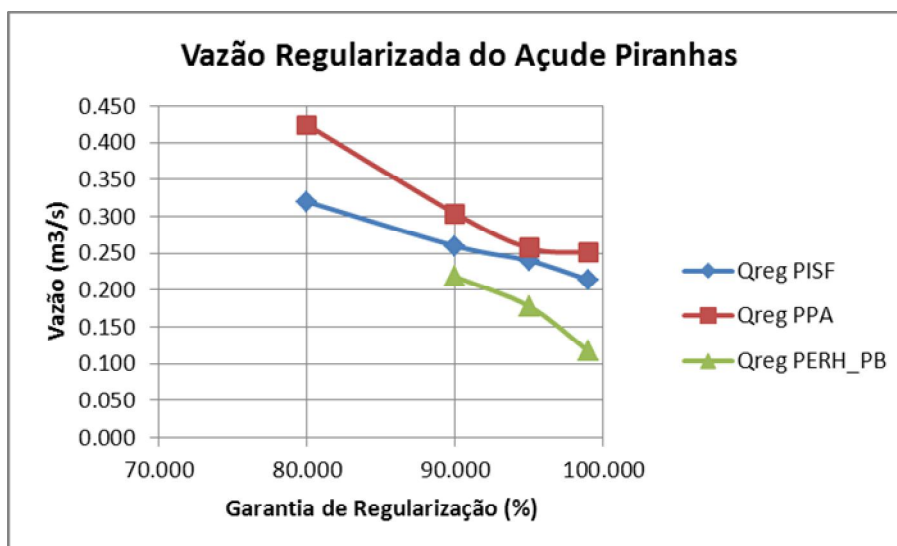


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Piranhas.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Piranhas

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			25.696.200
Bacia Hidrográfica (km²)			198,30
Bacia Hidráulica (ha)			234,20
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,304	0,26	0,218
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,257	0,24	0,178
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,251	0,21	0,117
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	935,78	843,7	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	137,32	104,3	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	14,67	12,4	Sem dado

2.3.4.19. Vazões Regularizadas do Açude Várzea Grande

O açude Várzea Grande fica localizado na sub-bacia do Seridó, no município de Picuí, Estado da Paraíba. A **Figura 2.65** mostra a localização do açude. A **Figura 2.66** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.45** apresenta as vazões regularizadas.

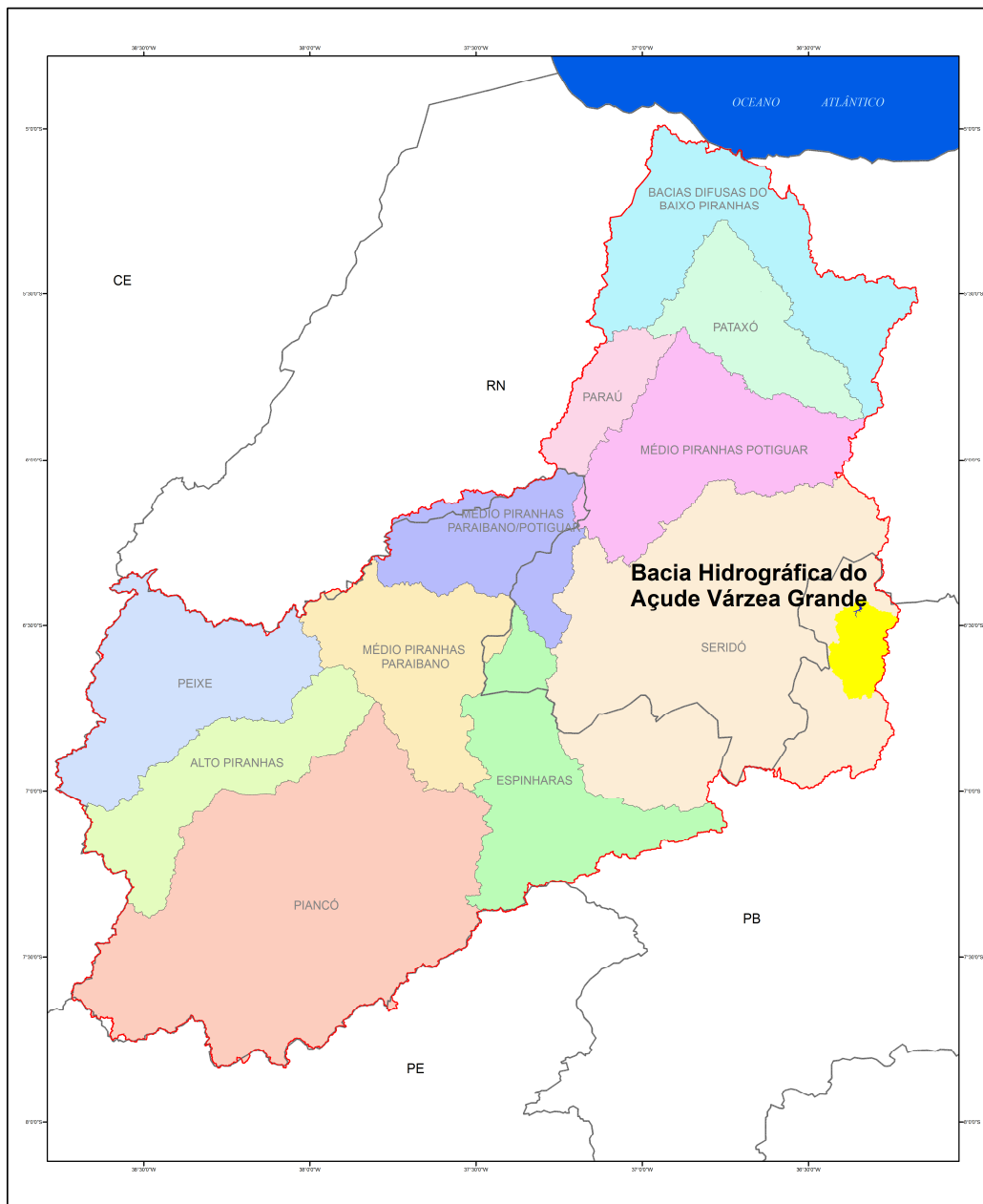


Figura 2.. Localização do açude Várzea Grande, em Picuí-PB.

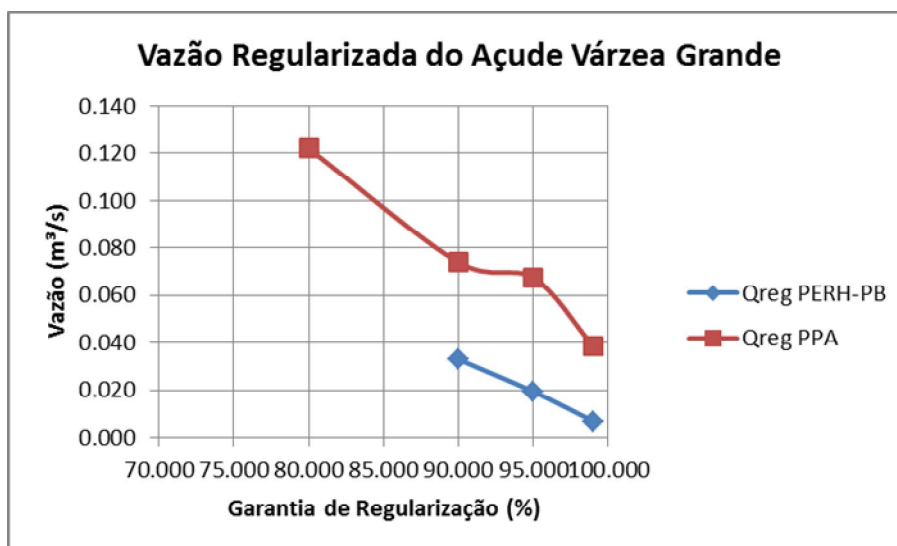


Figura 2.. Curva de vazões regularizadas do açude Várzea Grande.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Várzea Grande

Características Gerais		
Capacidade de Acumulação (m³)	21.532.659	
Bacia Hidrográfica (km²)	494,05	
Bacia Hidráulica (ha)	342,45	
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,074	0,033
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,0675	0,019
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,0386	0,007
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Precipitação Média na Bacia (mm)	612,83	Sem informação
Deflúvio Médio (mm)	49,63	Sem informação
Coeficiente de Escoamento (%)	8,10	Sem informação

2.3.4.20. Vazões Regularizadas do Açude Riacho dos Cavalos

O açude Riacho dos Cavalos fica localizado na sub-bacia do Médio Piranhas Paraibano, no município de Riacho dos Cavalos. A **Figura 2.67** mostra a localização do açude. A **Figura 2.68** mostra as curvas de regularização de vazão. A **Tabela 2.46** apresenta as vazões regularizadas.

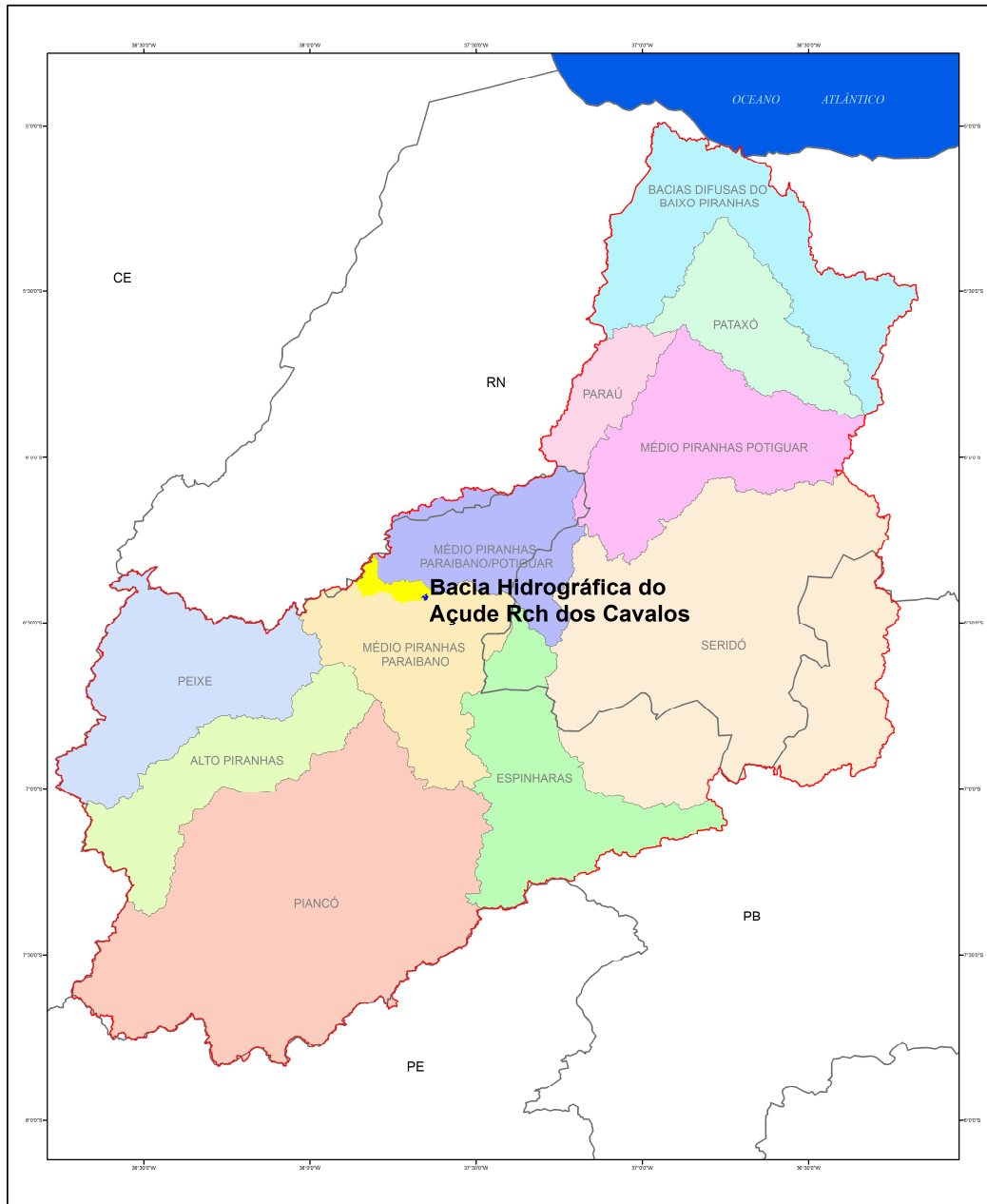


Figura 2.. Localização do açude Riacho dos Cavalos, em Riacho dos Cavalos-PB.

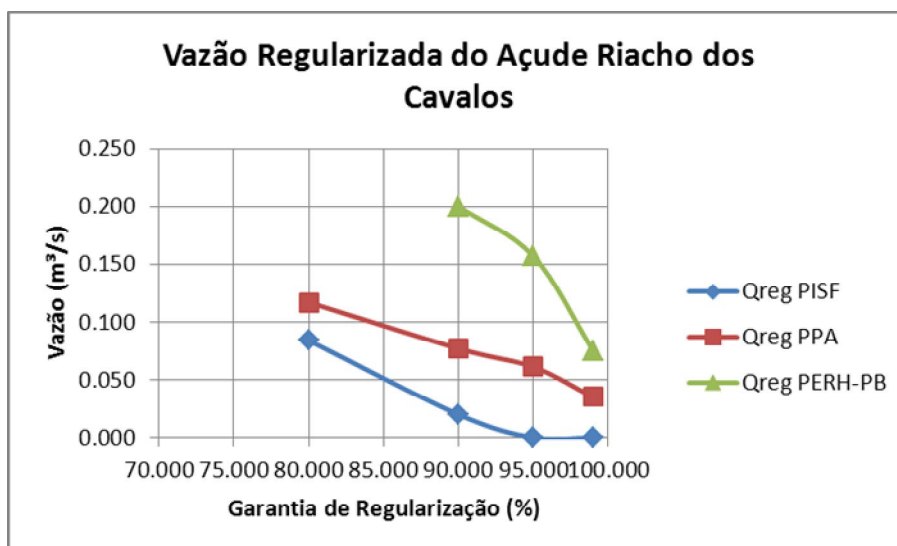


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Riacho dos Cavalos.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Riacho dos Cavalos

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			17.699.000
Bacia Hidrográfica (km²)			165,33
Bacia Hidráulica (ha)			437
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,077	0,020	0,200
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,061	0,000	0,157
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,035	0,000	0,075
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	1017,88	792,7	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	79,12	112,4	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	7,77	14,2	Sem dado

O açude Riacho dos Cavalos é um exemplo de grande discordância entre os valores de vazões regularizadas calculadas pelo PISF e os demais estudos.

2.3.4.21. Vazões Regularizadas do Açude Bartolomeu I

O açude Bartolomeu I fica localizado na sub-bacia do Alto Piranhas, no município de Bonito de Santa Fé, Estado da Paraíba. A **Figura 2.69** mostra a localização do açude. A **Figura 2.70** mostra as curvas de regularização. A **Tabela 2.47** apresenta as vazões regularizadas.

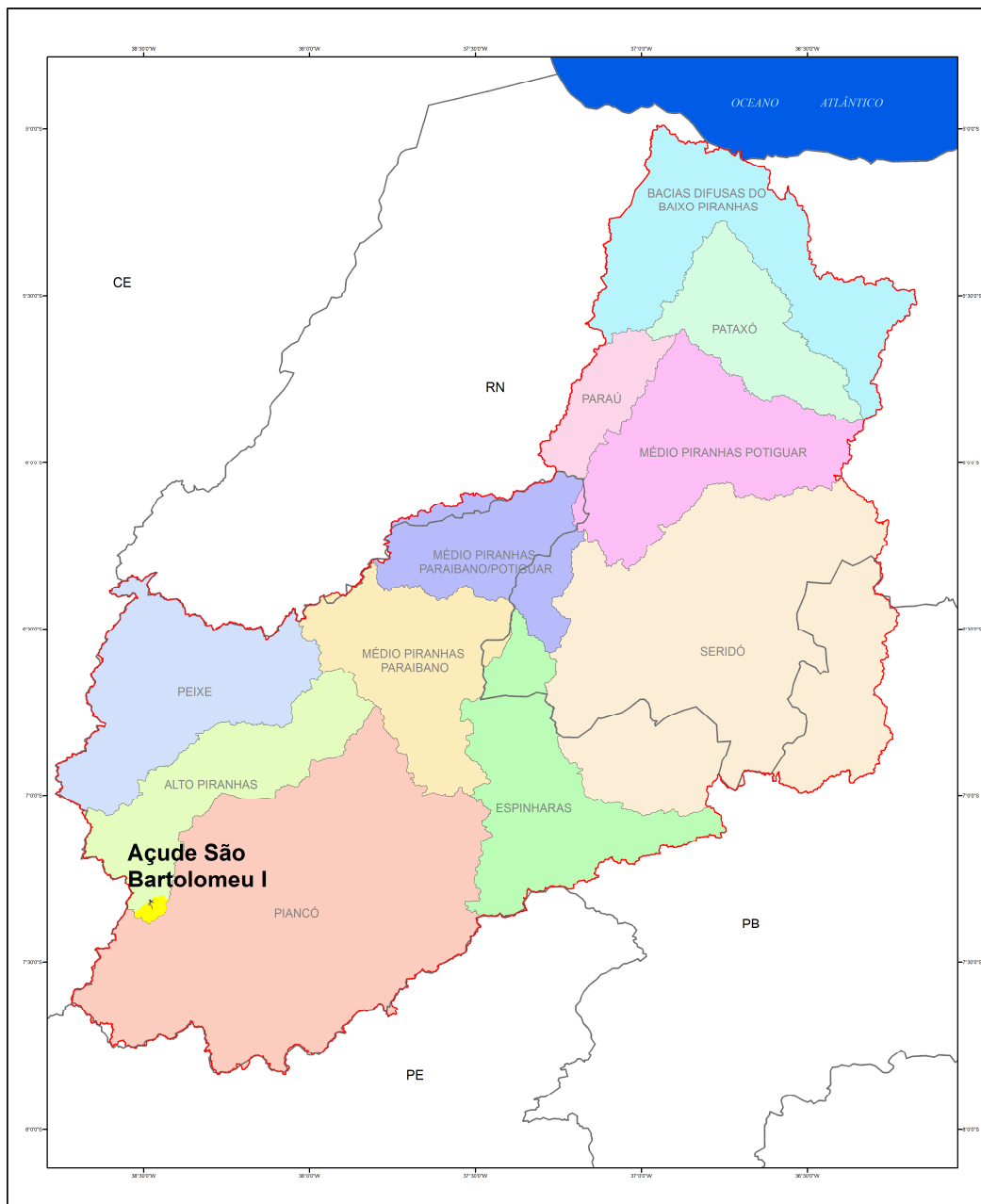


Figura 2.. Localização do açude São Bartolomeu I, em Bonito de Santa Fé-PB.

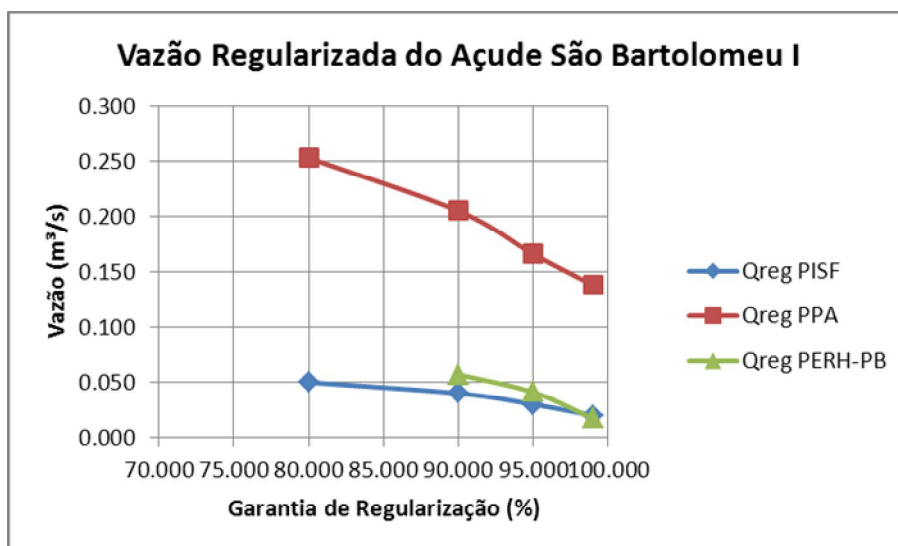


Figura 2.. Curva de vazões regularizadas do açude São Bartolomeu I.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude São Bartolomeu I
Características Gerais

Capacidade de Acumulação (m³)			17.570.556
Bacia Hidrográfica (km²)			118
Bacia Hidráulica (ha)			292,24
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,205	0,04	0,057
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,166	0,03	0,041
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,138	0,02	0,016
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	1019,81	811,0	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	198,89	125,1	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	19,5	15,4	Sem dado

2.3.4.22. Vazões Regularizadas do Açude Jatobá I

O açude Jatobá I fica localizado na sub-bacia do Espinharas, no município de Patos, Estado da Paraíba. A **Figura 2.71** mostra a localização do açude. A **Figura 72** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.48** apresenta as vazões regularizadas.

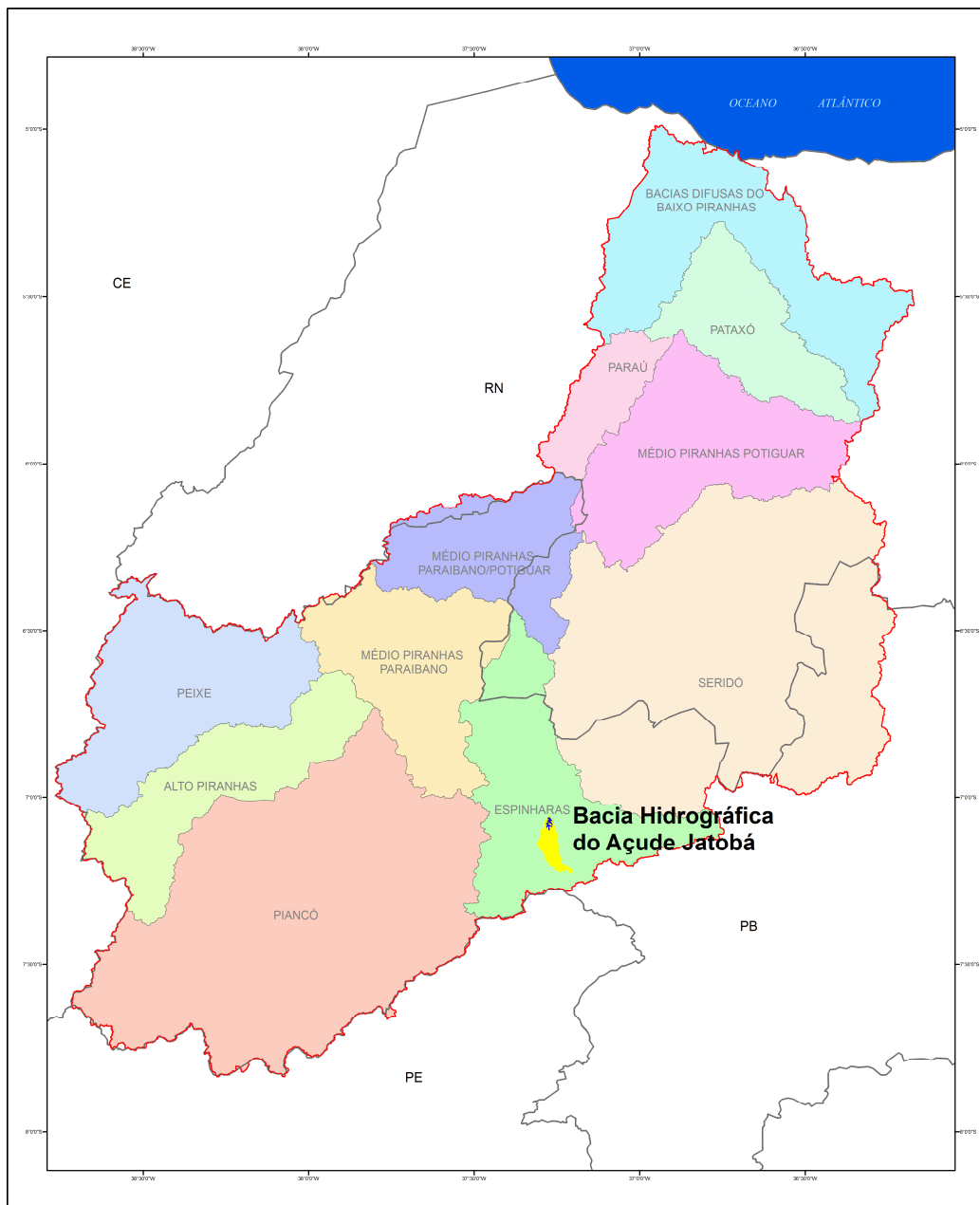


Figura 2.. Localização do açude Jatobá I, em Patos-PB.

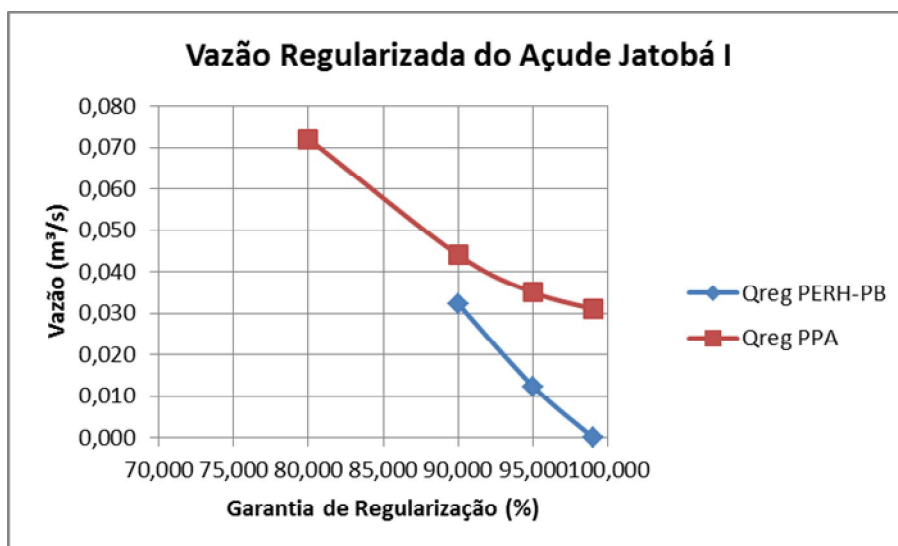


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Jatobá I

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Jatobá I

Características Gerais		
Capacidade de Acumulação (m³)		17.516.000
Bacia Hidrográfica (km²)		85
Bacia Hidráulica (ha)		412,35
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,044	0,032
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,035	0,012
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,031	0,000
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Precipitação Média na Bacia (mm)	765,63	Sem informação
Deflúvio Médio (mm)	94,36	Sem Informação
Coeficiente de Escoamento (%)	12,32	Sem informação

2.3.4.23. Vazões Regularizadas do Açude Escondido

O açude Escondido fica localizado na sub-bacia do Médio Piranhas Paraibano-Potiguar, no município de Belém do Brejo do Cruz-PB. A **Figura 2.73** mostra a localização do açude. A **Figura 2.74** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.49** apresenta as vazões regularizadas.

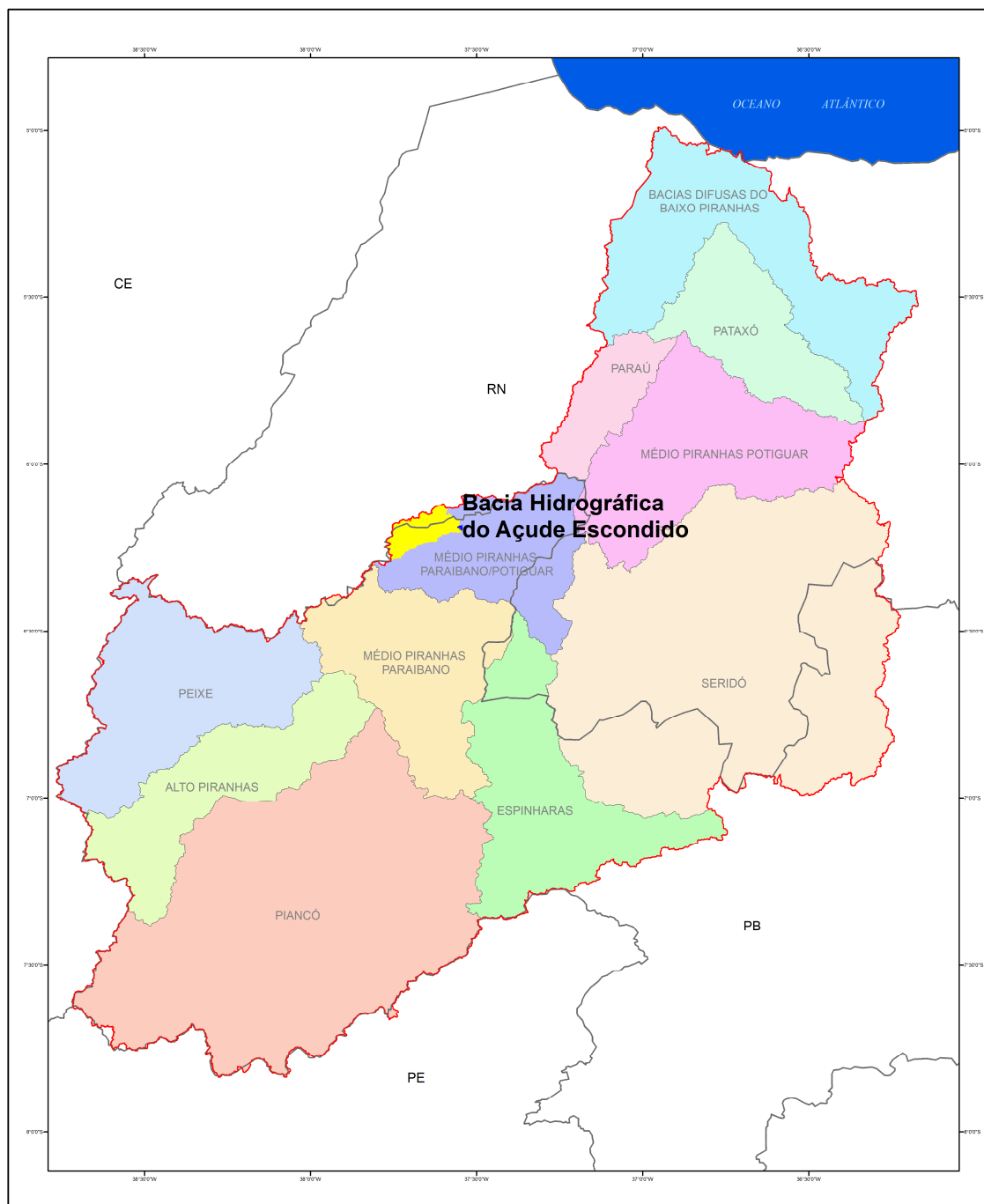


Figura 2.. Localização do açude Escondido, em Belém do Brejo do Cruz.

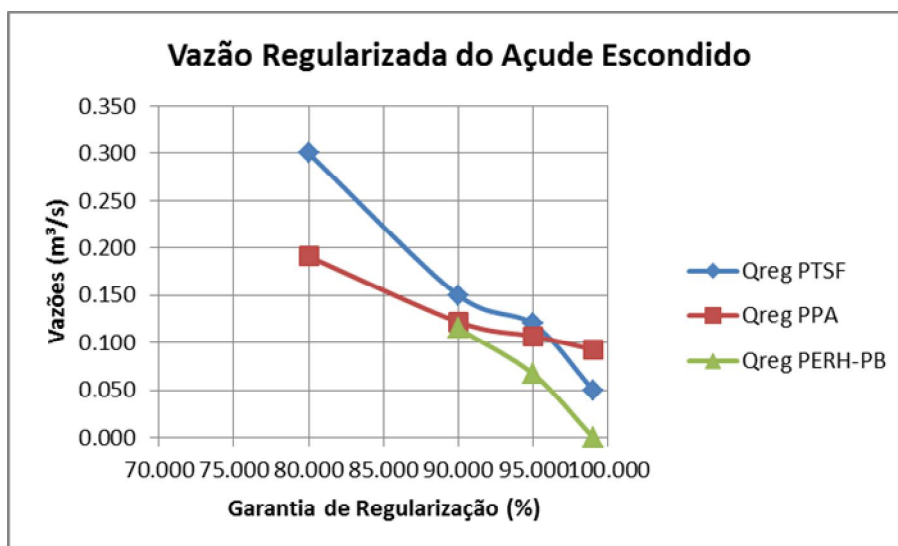


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Escondido.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Escondido

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			16.325.813
Bacia Hidrográfica (km²)			135
Bacia Hidráulica (ha)			513,8
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,122	0,15	0,115
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,107	0,12	0,067
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,093	0,06	0,000
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	802,83	824,1	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	145,25	118,7	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	18,09	14,4	Sem dado

2.3.4.24. Vazões Regularizadas do Açude São Mamede

O açude São Mamede fica localizado na sub-bacia do Seridó, no município de mesmo nome. A **Figura 2.75** mostra a localização do açude. A **Figura 2.76** mostra as curvas de vazão regularizada. A **Tabela 2.50** apresenta as vazões regularizadas do açude.

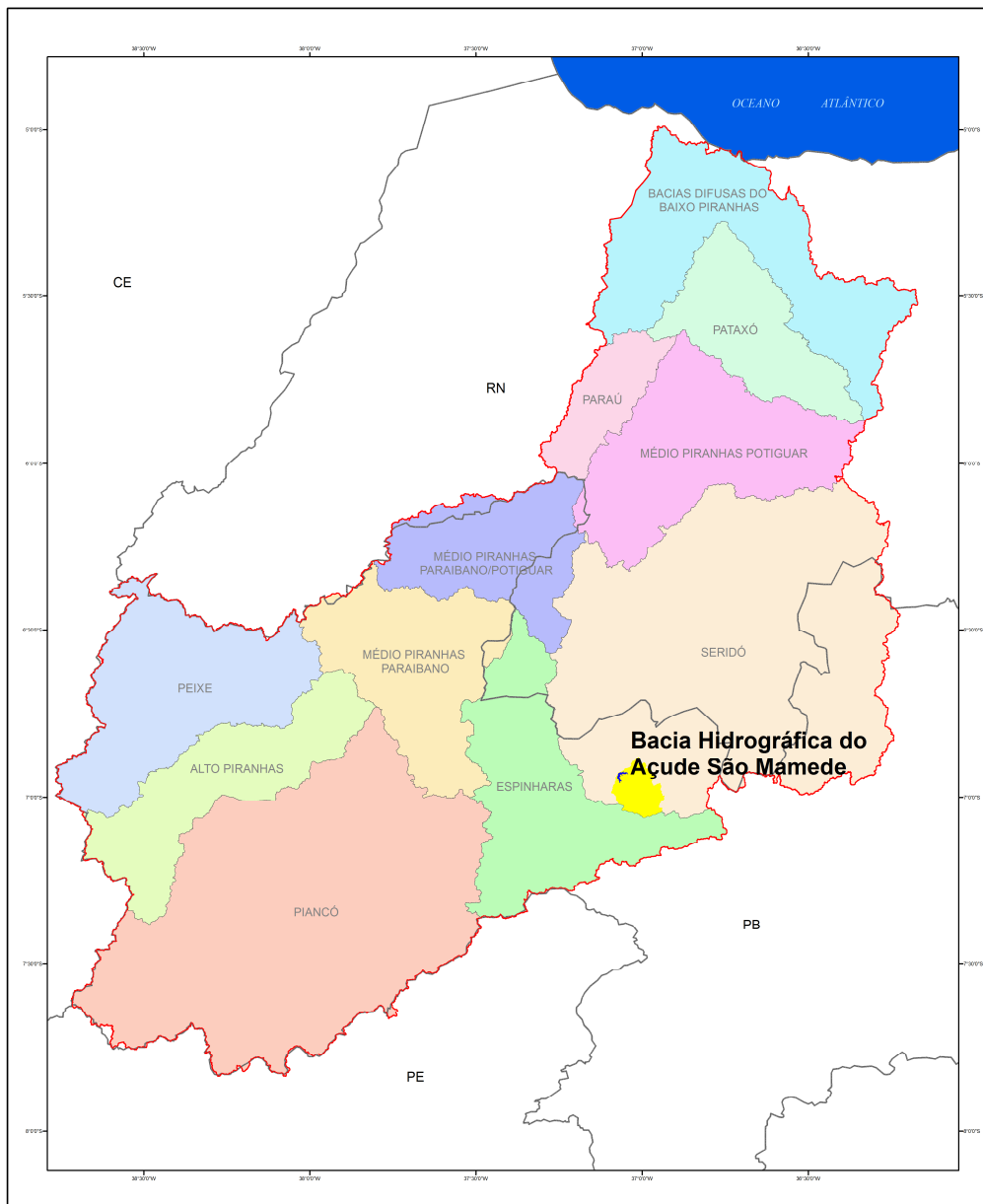


Figura 2.. Localização do açude São Mamede, em São Mamede-PB.

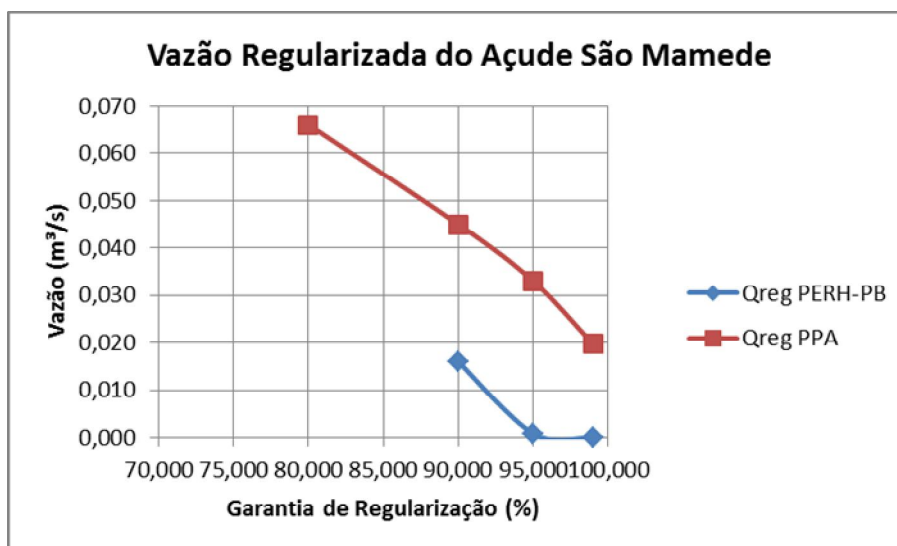


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude São Mamede.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude São Mamede
Características Gerais

Capacidade de Acumulação (m³)	15.791.280	
Bacia Hidrográfica (km²)	192,80	
Bacia Hidráulica (ha)	422,28	
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,045	0,016
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,033	0,008
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,0197	0,000
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Precipitação Média na Bacia (mm)	786,94	Sem informação
Deflúvio Médio (mm)	88,58	Sem informação
Coeficiente de Escoamento (%)	11,25	Sem informação

2.3.4.25. Vazões Regularizadas do Açude Queimadas

O açude Queimadas fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Santana dos Garrotes, Estado da Paraíba. A **Figura 2.77** mostra a localização do açude. A **Figura 2.78** mostra as curvas de regularização de vazões. A **Tabela 2.51** apresenta as vazões regularizadas.

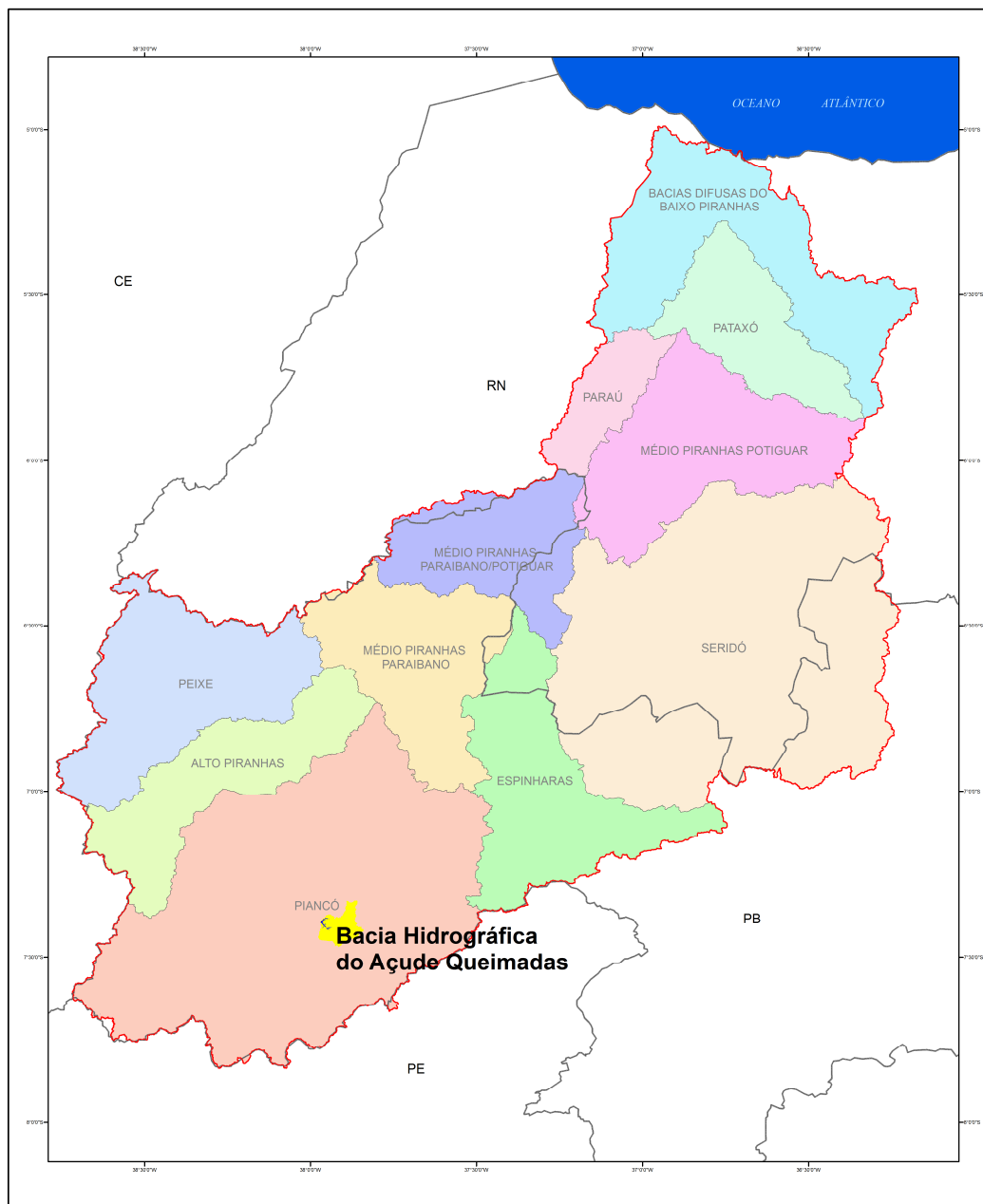


Figura 2.. Localização do açude Queimadas, em Santana dos Garrotes-PB.

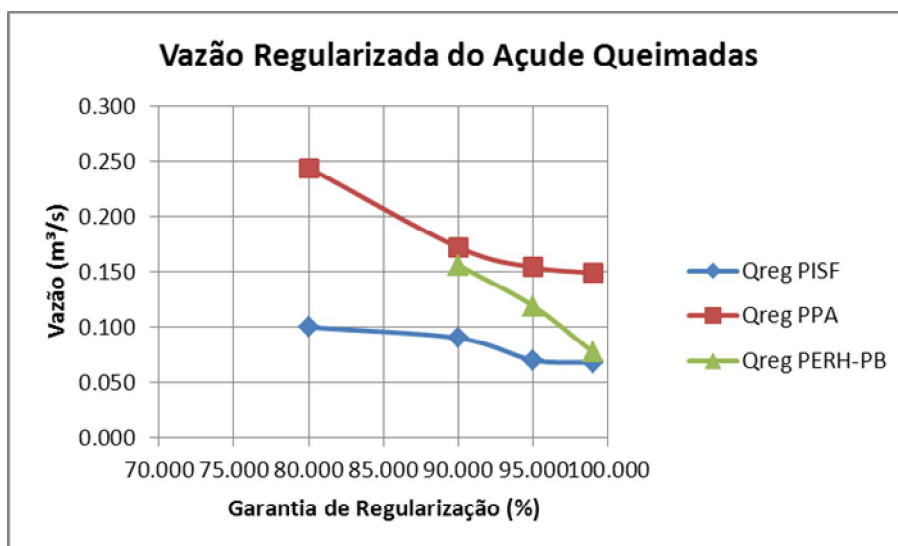


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Queimadas.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Queimadas

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)	15.625.338		
Bacia Hidrográfica (km²)	123,0		
Bacia Hidráulica (ha)	240,95		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,172	0,09	0,156
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,154	0,07	0,119
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,149	0,06	0,077
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	952,83	794,1	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	154,80	93,4	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	14,67	11,8	Sem dado

Adota-se as vazões do PISF.

2.3.4.26. Vazões Regularizadas do Açude Timbaúba

O açude Timbaúba fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Jurú. A **Figura 2.79** mostra a localização do açude. A **Figura 2.80** mostra as curvas de regularização. A **Tabela 2.52** apresenta as vazões regularizadas.

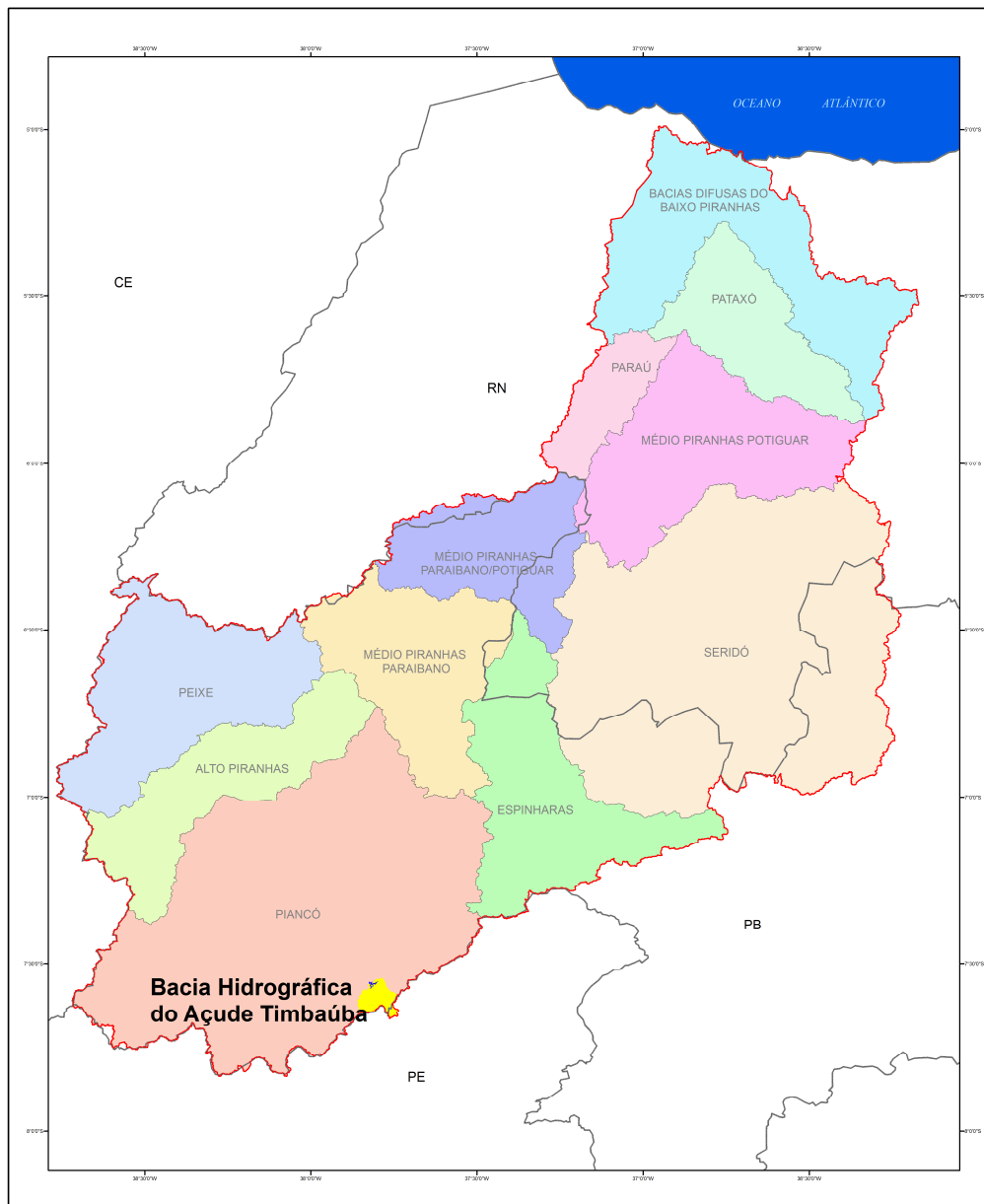


Figura 2.. Localização do açude Timbaúba, no município de Jurú-PB.

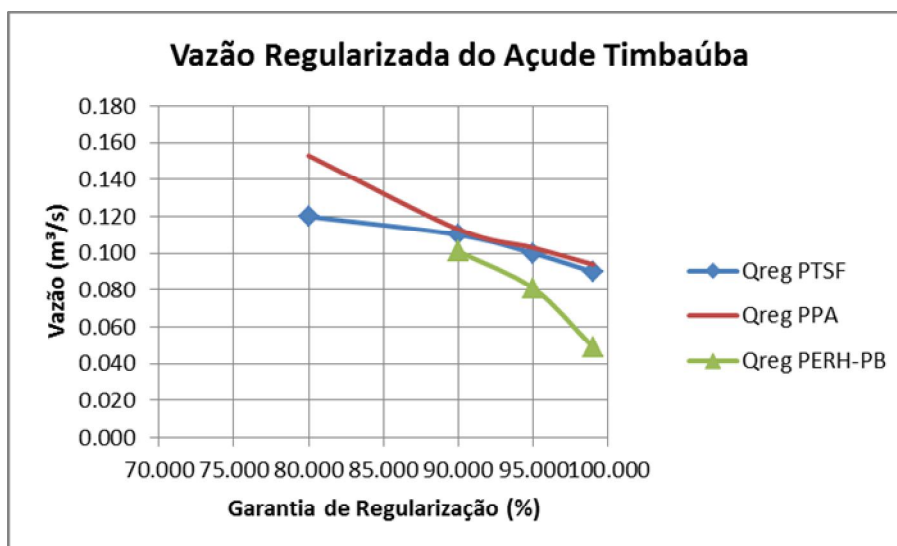


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Timbaúba.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Timbaúba

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			15.438.572
Bacia Hidrográfica (km²)			108
Bacia Hidráulica (ha)			210,19
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,113	0,11	0,101
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,103	0,10	0,081
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,094	0,09	0,049
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	794,02	774,0	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	78,09	113,4	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	9,84	14,7	Sem dado

2.3.4.27. Vazões Regularizadas do Açude Bom Jesus II (Poço Comprido)

O açude Bom Jesus II, também conhecido por Poço Comprido, fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Água Branca, Estado da Paraíba. A **Figura 2.81** mostra a

localização do açude. A **Figura 2.82** mostra as curvas de regularização. A **Tabela 2.53** apresenta as vazões regularizadas.

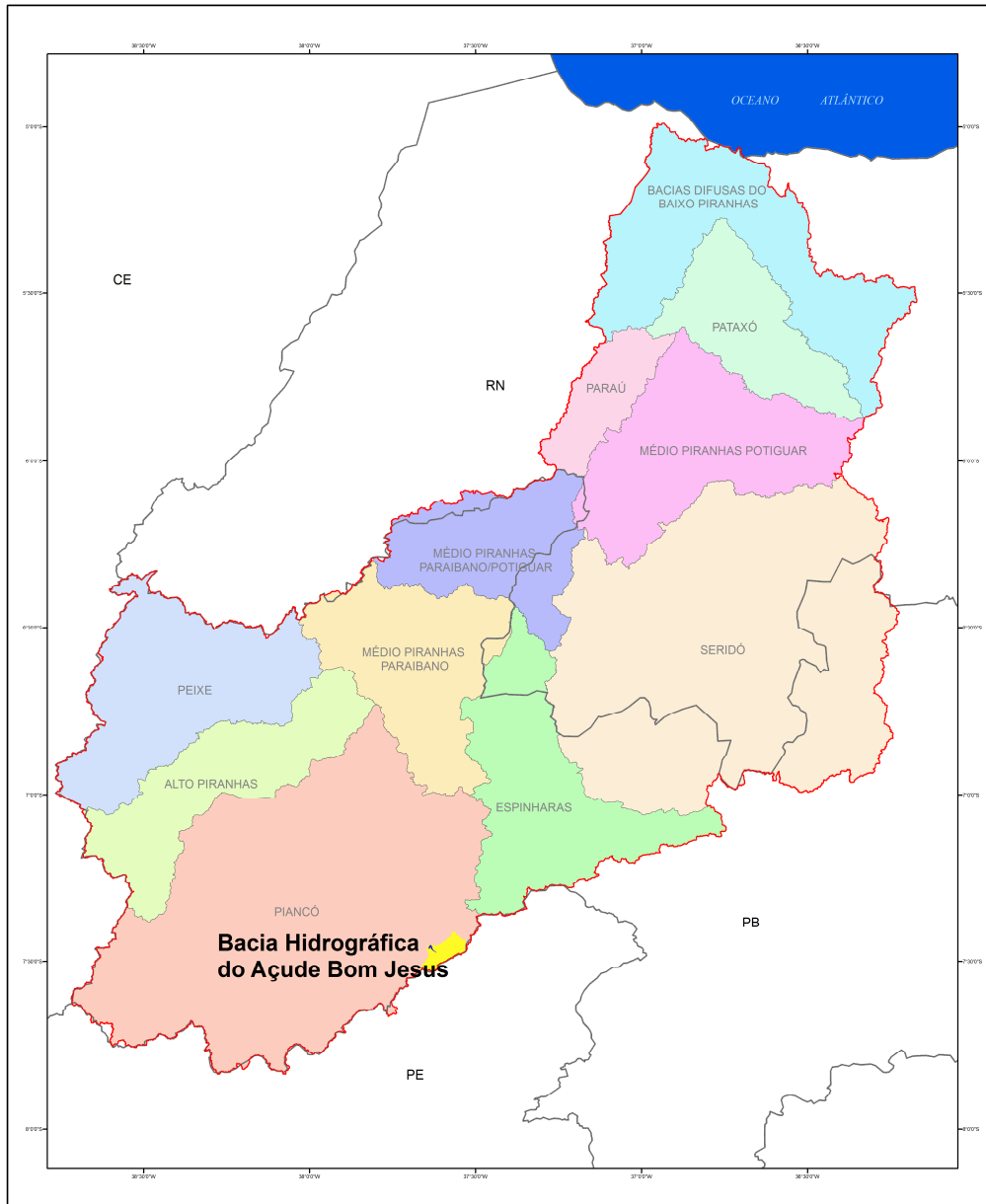


Figura 2.. Localização do açude Bom Jesus (Poço Comprido), em Água Branca-PB.

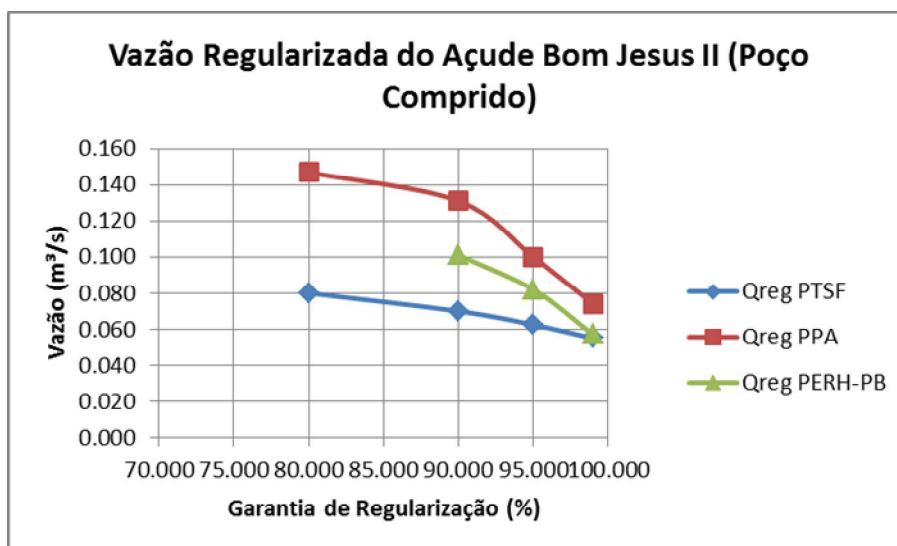


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Bom Jesus II.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Bom Jesus

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			14.636.457
Bacia Hidrográfica (km²)			96,6
Bacia Hidráulica (ha)			145,2
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,131	0,070	0,101
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,100	0,060	0,082
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,074	0,055	0,057
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	821,61	668,9	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	84,95	91,5	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	10,34	13,7	Sem dado

2.3.4.28. Vazões Regularizadas do Açude Pilões

O açude Pilões fica localizado na sub-bacia do Peixe, no município de São João do Rio do Peixe, Estado da Paraíba. A **Figura 2.83** mostra a localização do açude. A **Figura 2.84** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.54** apresenta as vazões regularizadas.

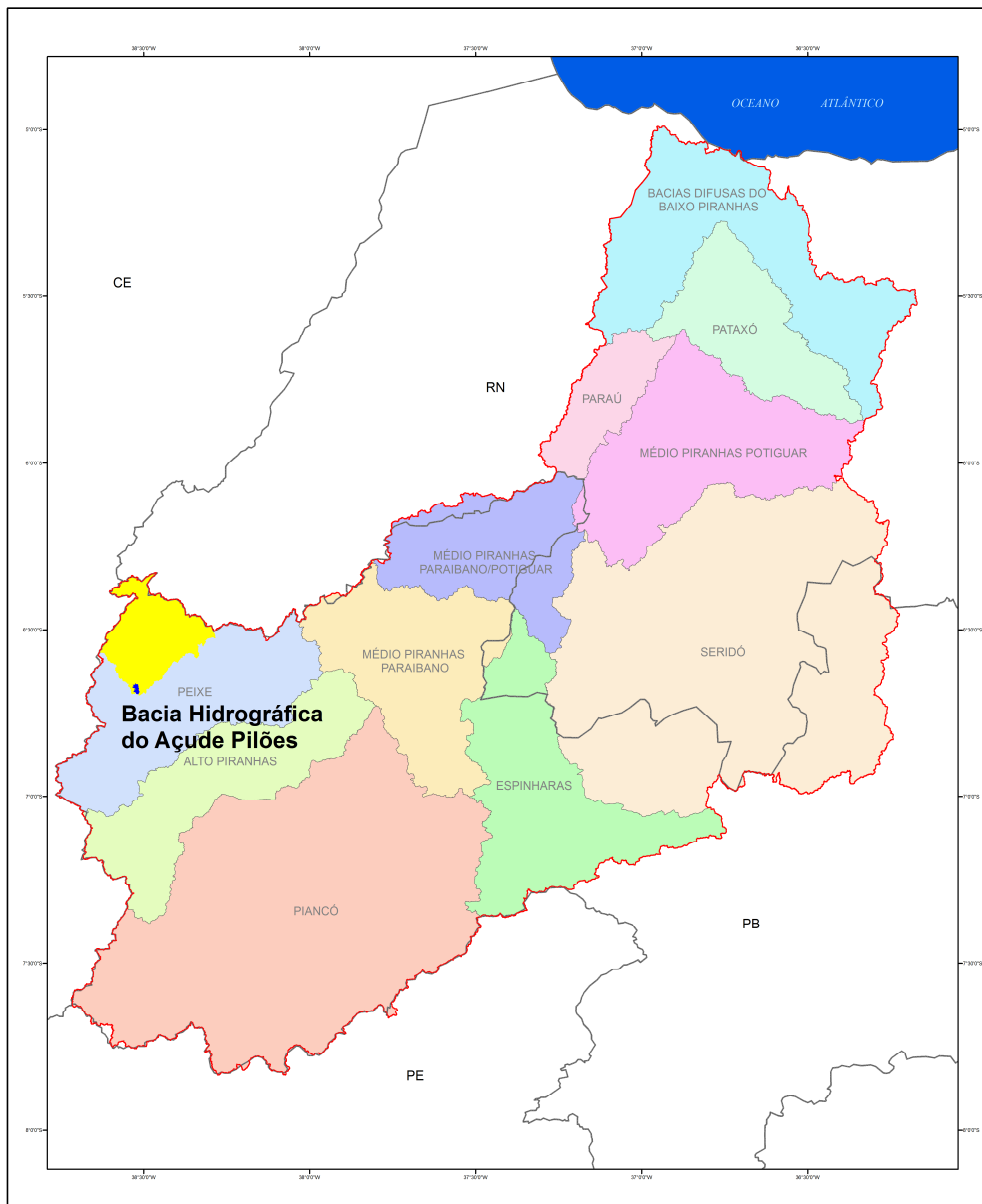


Figura 2.. Localização do açude Pilões, em São João do Rio do Peixe.

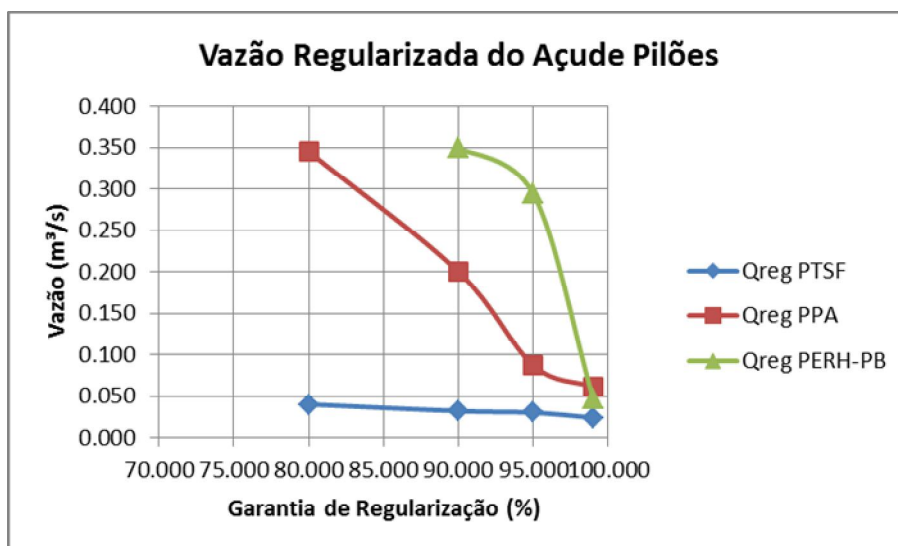


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Pilões.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Pilões

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			13.000.000
Bacia Hidrográfica (km²)			952
Bacia Hidráulica (ha)			483,4
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,200	0,032	0,309
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,087	0,030	0,252
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,061	0,024	0,026
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	892,31	870,2	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	114,36	126,7	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	12,82	14,6	Sem dado

2.3.4.29. Vazões Regularizadas do Açude Santa Luzia

O açude Santa Luzia fica localizado na sub-bacia do Seridó, município de Santa Luzia, Estado da Paraíba. A **Figura 2.85** mostra a localização do açude. A **Figura 2.86** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.55** apresenta as vazões regularizadas.

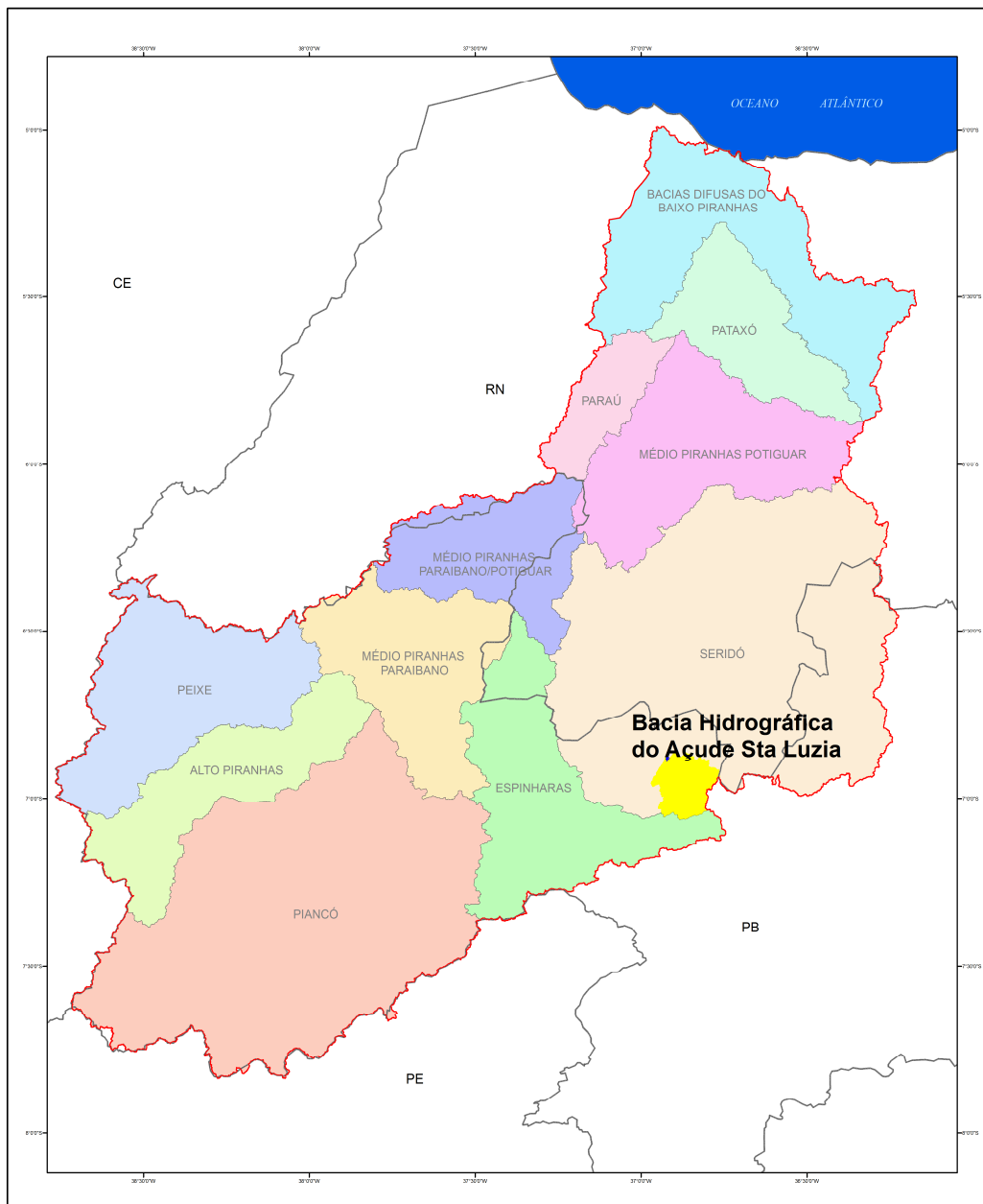


Figura 2.. Localização do açude Santa Luzia (Tartaruga), em Santa Luzia-PB.

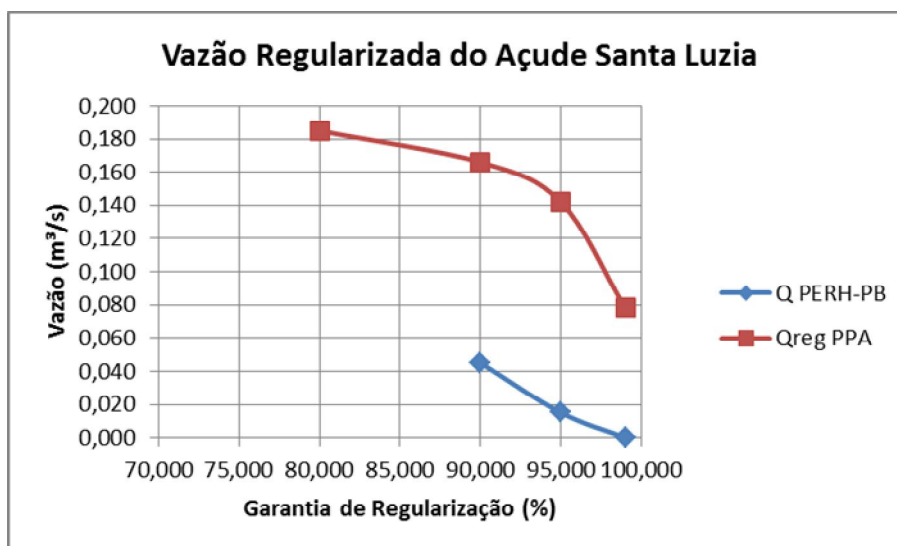


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Santa Luzia.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Santa Luzia

Características Gerais		
Capacidade de Acumulação (m³)		11.722.750
Bacia Hidrográfica (km²)		337,20
Bacia Hidráulica (ha)		260,38
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,166	0,045
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,142	0,015
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,078	0,000
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Precipitação Média na Bacia (mm)	475,93	Sem informação
Deflúvio Médio (mm)	91,70	Sem informação
Coeficiente de Escoamento (%)	19,27	Sem informação

2.3.4.30. Vazões Regularizadas do Açude Serra Vermelha I

O açude Serra Vermelha I fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Conceição. A **Figura 2.87** mostra a localização do açude. A **Figura 2.88** mostra as curvas de regularização. A **Tabela 2.56** apresenta as vazões regularizadas.

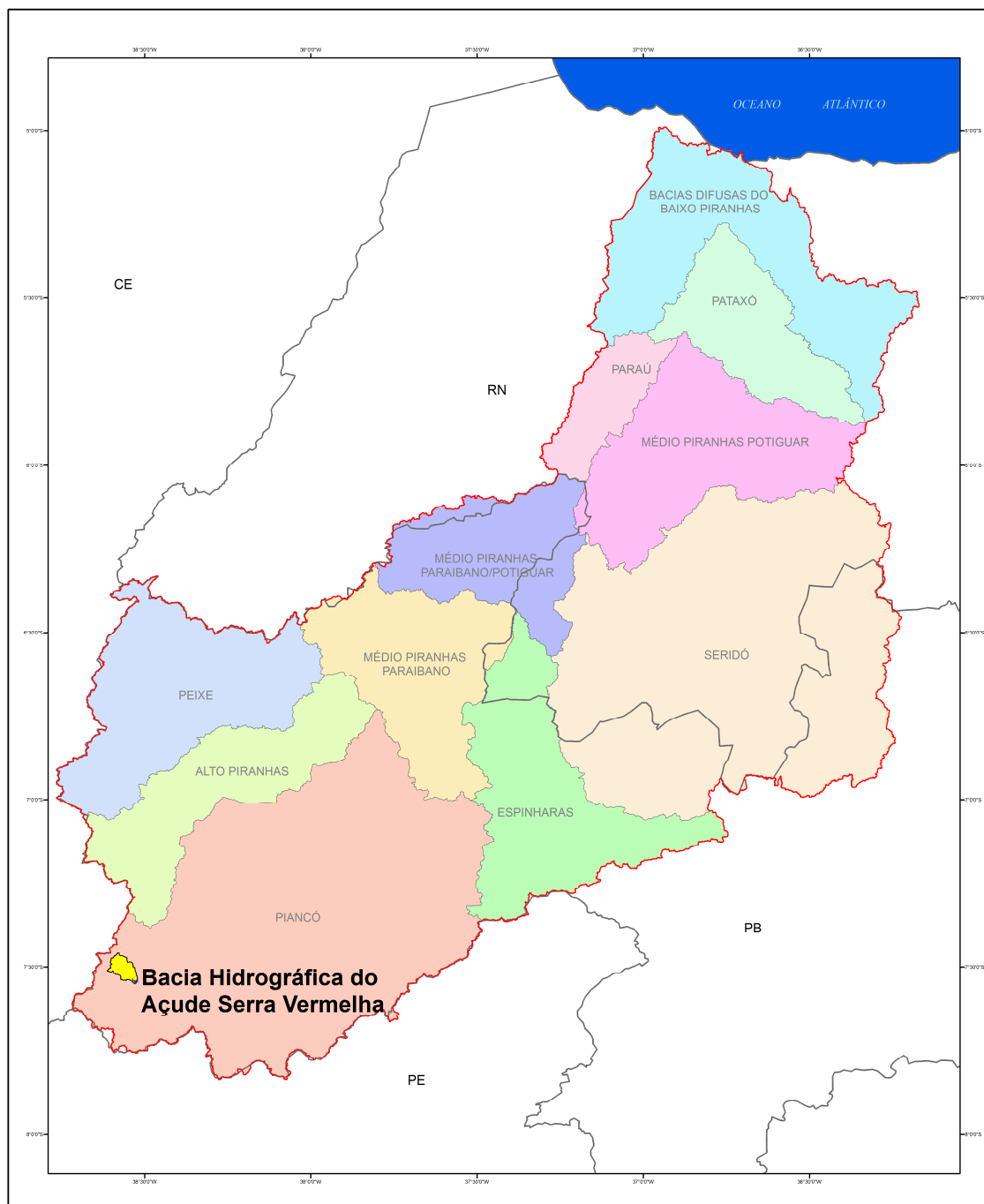


Figura 2.. Localização do açude Serra Vermelha I, em Conceição-PB.

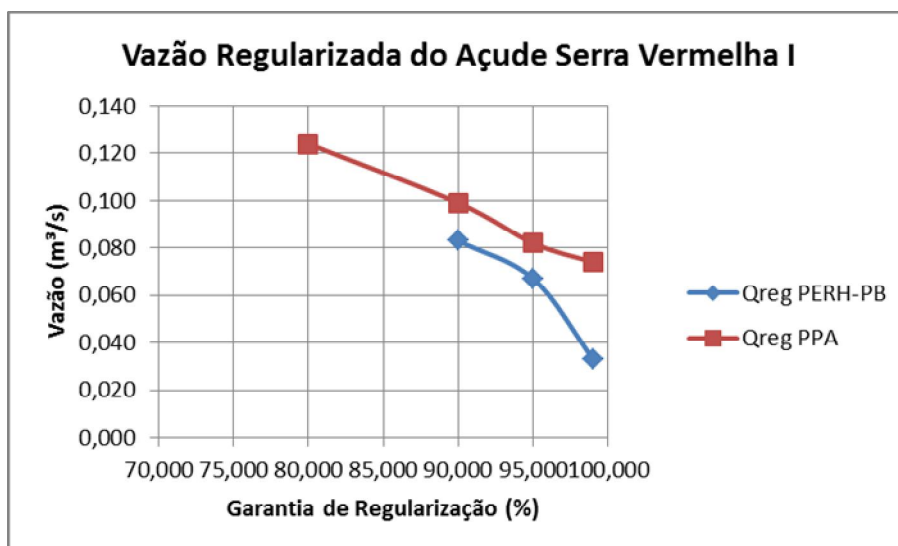


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Serra Vermelha I

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Serra Vermelha I

Características Gerais		
Capacidade de Acumulação (m³)		11.801.173
Bacia Hidrográfica (km²)		59
Bacia Hidráulica (ha)		152,21
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,099	0,083
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,082	0,067
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,074	0,033
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco
Precipitação Média na Bacia (mm)	813,01	Sem informação
Deflúvio Médio (mm)	85,85	Sem informação
Coeficiente de Escoamento (%)	10,56	Sem informação

2.3.4.31. Vazões Regularizadas do Açude Cachoeira dos Alves

O açude Cachoeira dos Alves fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Itaporanga, Estado da Paraíba. A **Figura 2.89** mostra a localização do açude. A **Figura 2.90** mostra as curvas de regularização de vazões. A **Tabela 2.57** apresenta as vazões regularizadas.

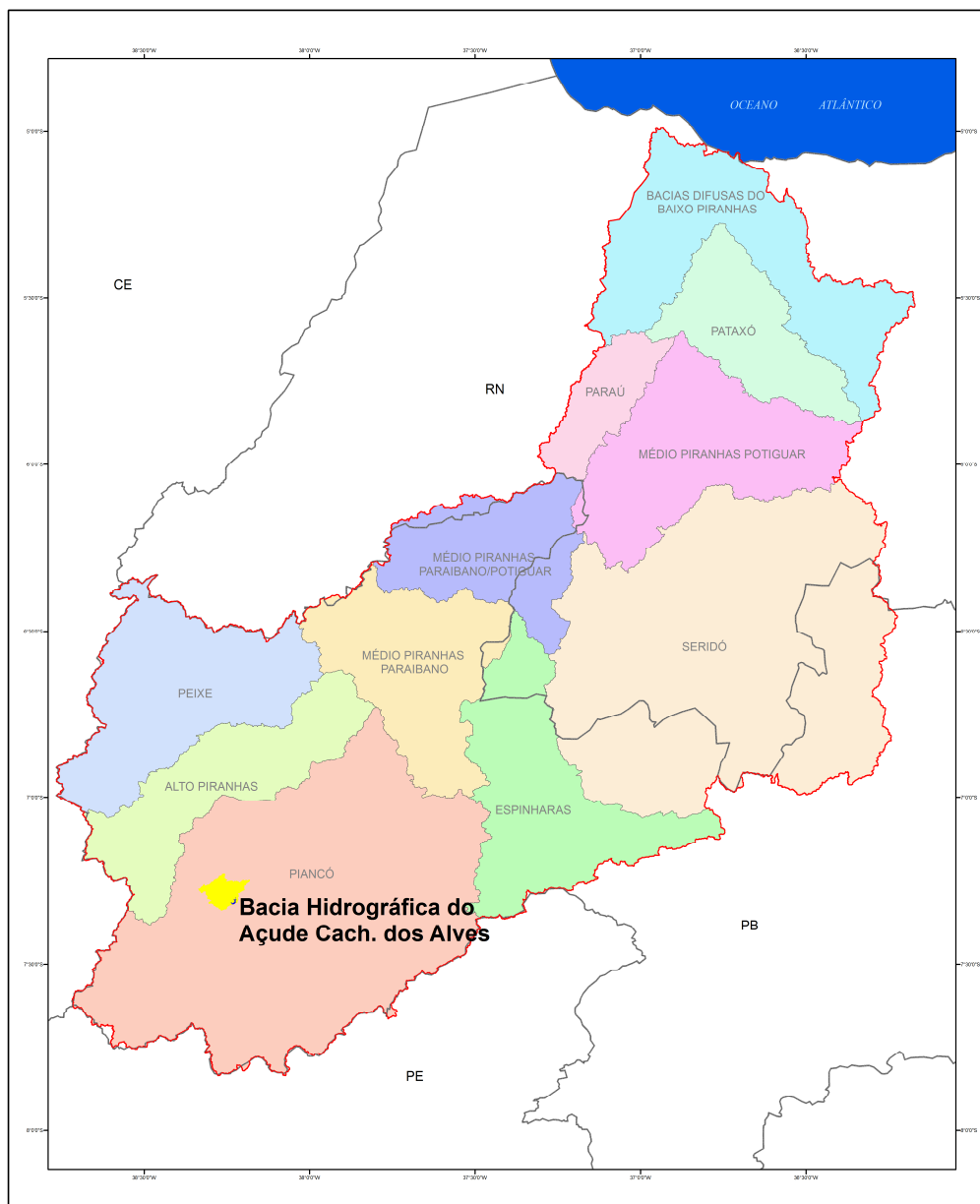


Figura 2.. Localização do açude Cachoeira dos Alves, em Itaporanga-PB.

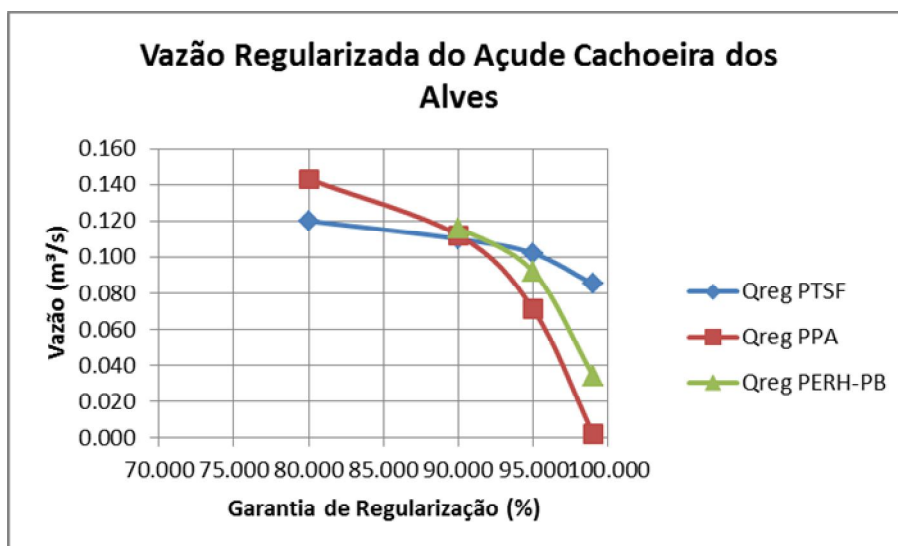


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Cachoeira dos Alves.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Cachoeira dos Alves

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			10.611.196
Bacia Hidrográfica (km²)			108,9
Bacia Hidráulica (ha)			199,0
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,112	0,110	0,116
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,071	0,100	0,092
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,0019	0,080	0,034
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	879,11	770,5	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	126,48	103,0	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	14,39	13,4	Sem dado

2.3.4.32. Vazões Regularizadas do Açude Catolé I

O açude Catolé I fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Manaíra, Estado da Paraíba. A **Figura 2.91** mostra a localização do açude. A **Figura 2.92** as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.58** apresenta as vazões regularizadas.

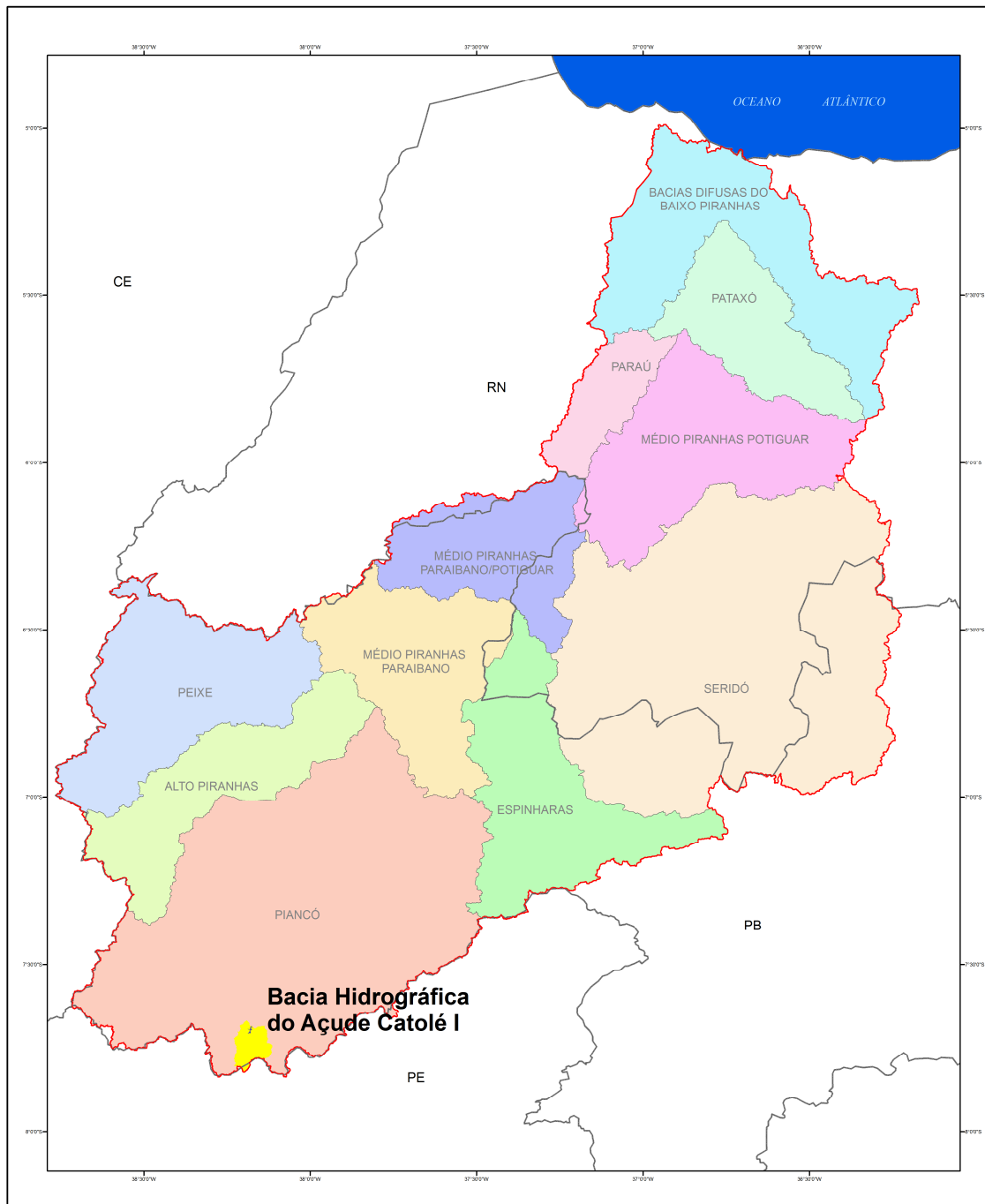


Figura 2.. Localização do açude Catolé I, em Manaíra-PB.

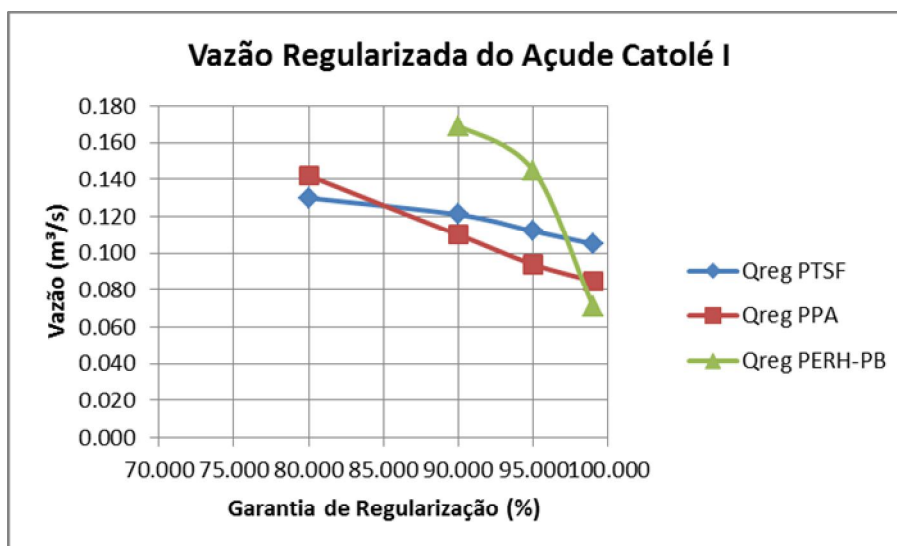


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Catolé I.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Catolé I

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			12.600.000
Bacia Hidrográfica (km²)			130
Bacia Hidráulica (ha)			136,07
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,110	0,120	0,169
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,094	0,110	0,145
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,085	0,106	0,075
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	748,53	686,5	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	67,42	73,4	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	9,01	10,7	Sem dado

2.3.4.33. Vazões Regularizadas do Açude Canoas

O açude Canoas fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Nova Olinda. A **Figura 2.93** mostra a localização do açude. A **Figura 2.94** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.59** apresenta as vazões regularizadas.

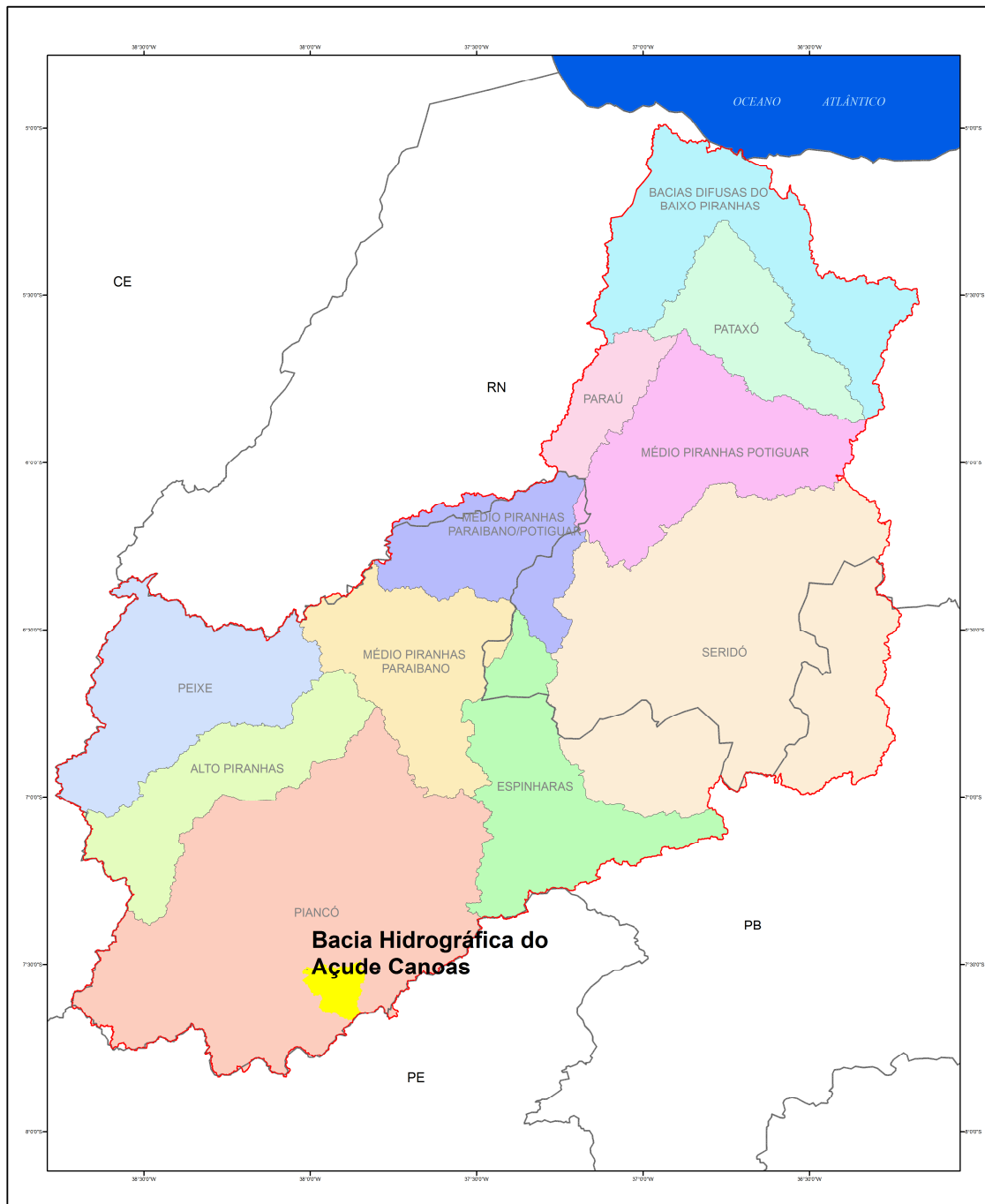


Figura 2.. Localização do açude Canoas, em Nova Olinda-PB.

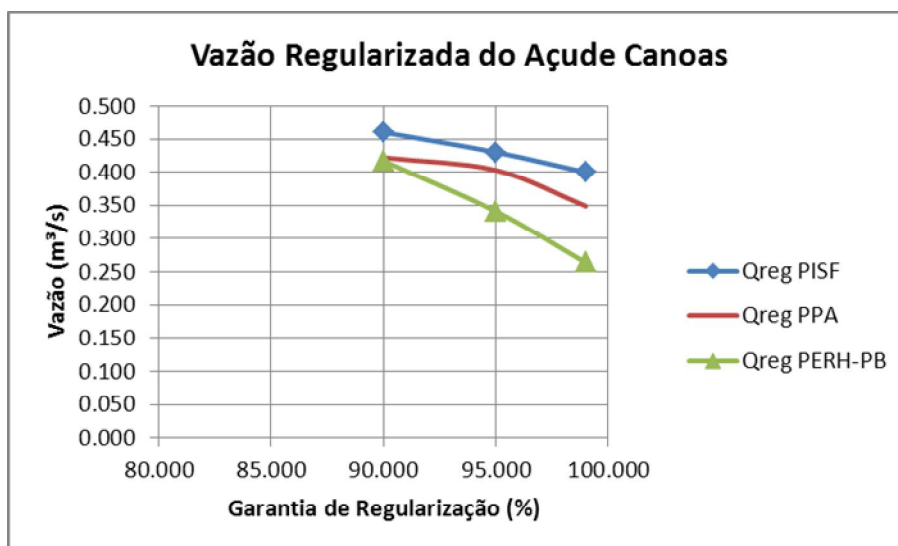


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Canoas.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Canoas

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)	45.555.443,00		
Bacia Hidrográfica (km²)	264		
Bacia Hidráulica (ha)	237,08		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,422	0,460	0,417
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,403	0,430	0,341
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,349	0,400	0,264
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	847,3	799,1	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	95,8	101,0	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	11,3	12,6	Sem dado

2.3.4.34. Vazões Regularizadas do Açude Poço Redondo

O açude Poço Redondo fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Santana de Mangueira, Estado da Paraíba. A **Figura 2.95** mostra a localização do açude. A **Figura 2.96** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.60** apresenta as vazões regularizadas.

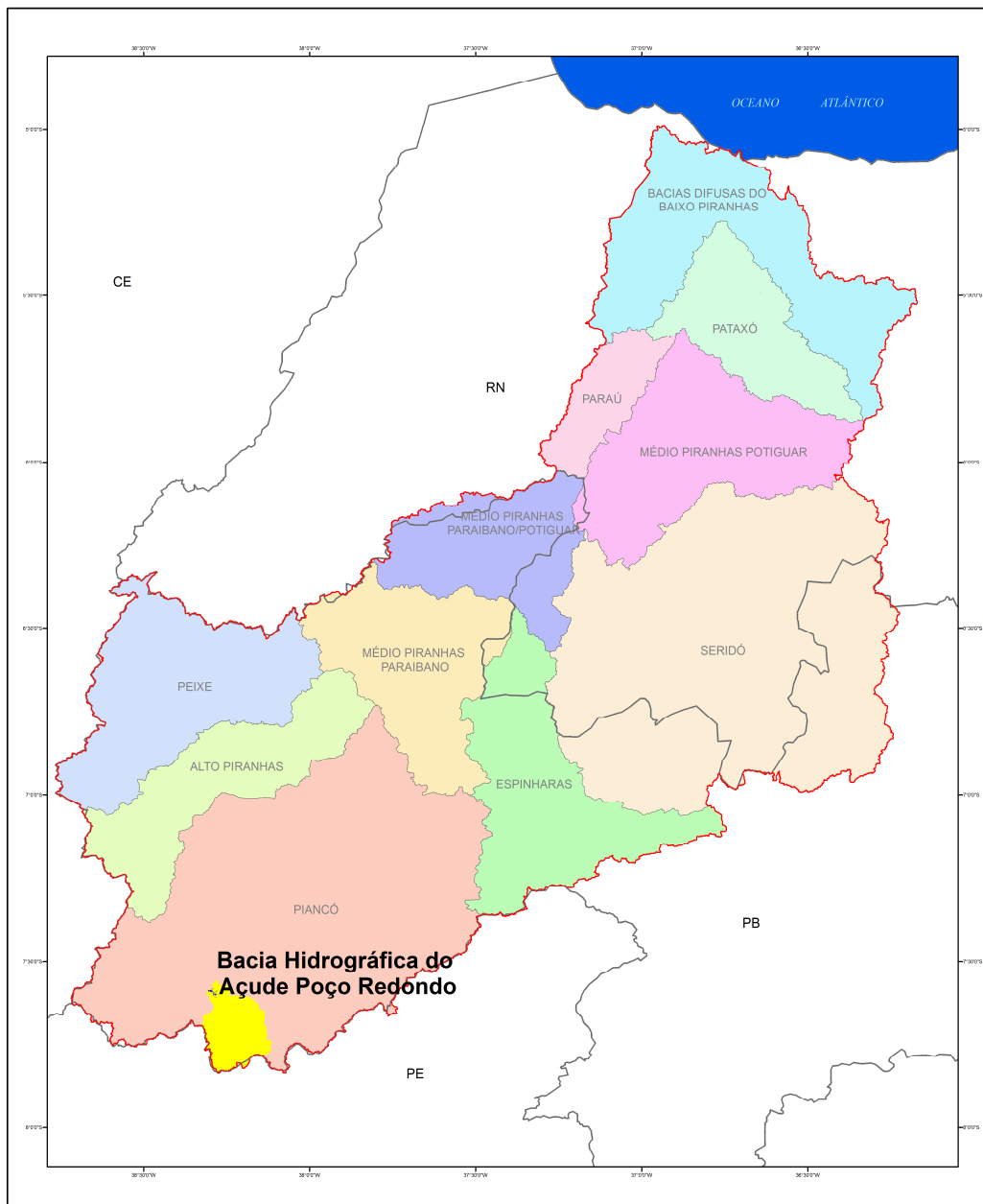


Figura 2.. Localização do açude Poço Redondo, em Santana de Mangueira.

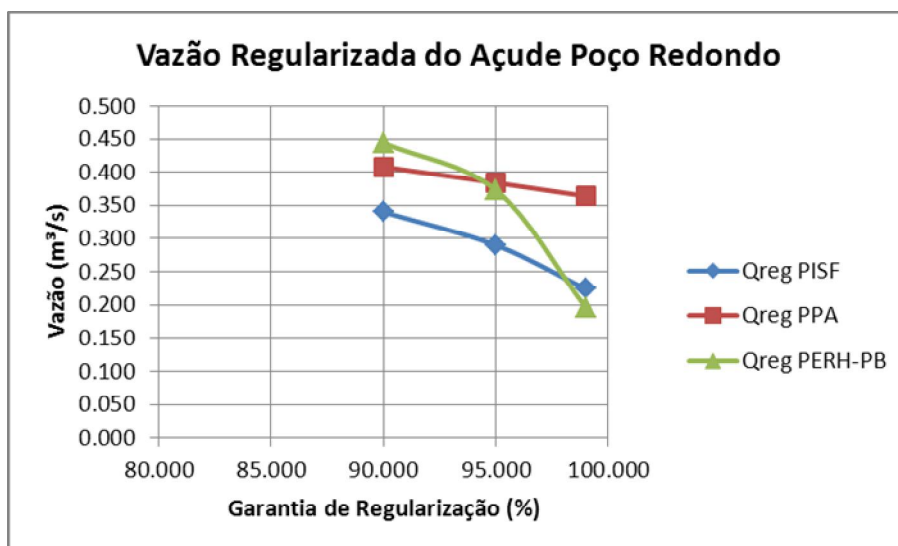


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Poço Redondo.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Poço Redondo

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)	62.751.154,00		
Bacia Hidrográfica (km²)	452,50		
Bacia Hidráulica (ha)	540,00		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,408	0,340	0,444
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,384	0,290	0,373
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,364	0,224	0,196
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	748,5	690,7	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	67,4	73,7	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	9,0	10,7	Sem dado

2.3.4.35. Vazões Regularizadas do Açude Santa Rosa

O açude Santa Rosa fica localizado na sub-bacia do Médio Piranhas Paraibano-Potiguar, no município de Belém do Brejo do Cruz, no Estado da Paraíba. A **Figura 2.97** mostra a

localização do açude. A **Figura 2.98** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.61** apresenta as vazões regularizadas.

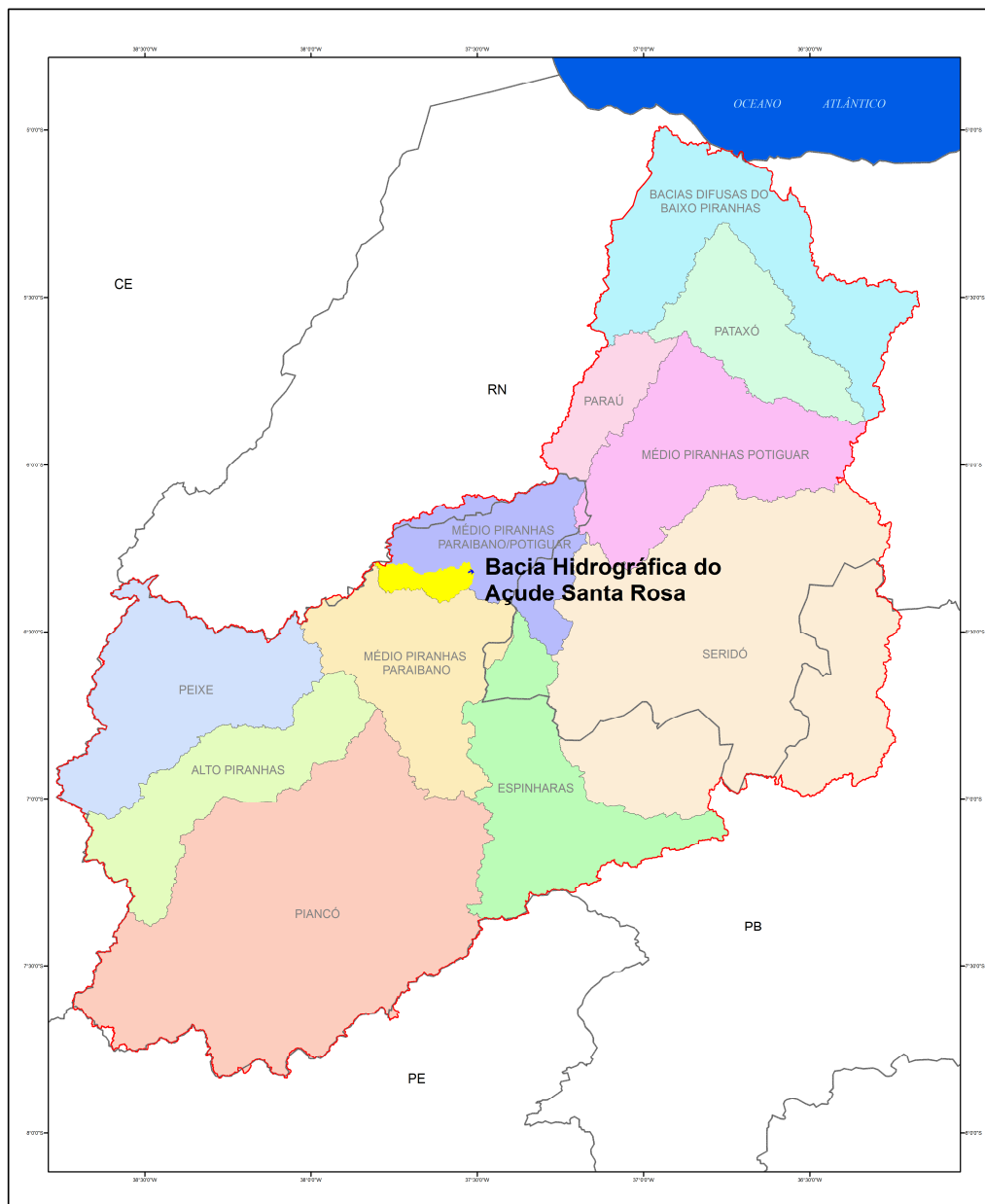


Figura 2.. Localização do açude Santa Rosa, em Belém do Brejo do Cruz.

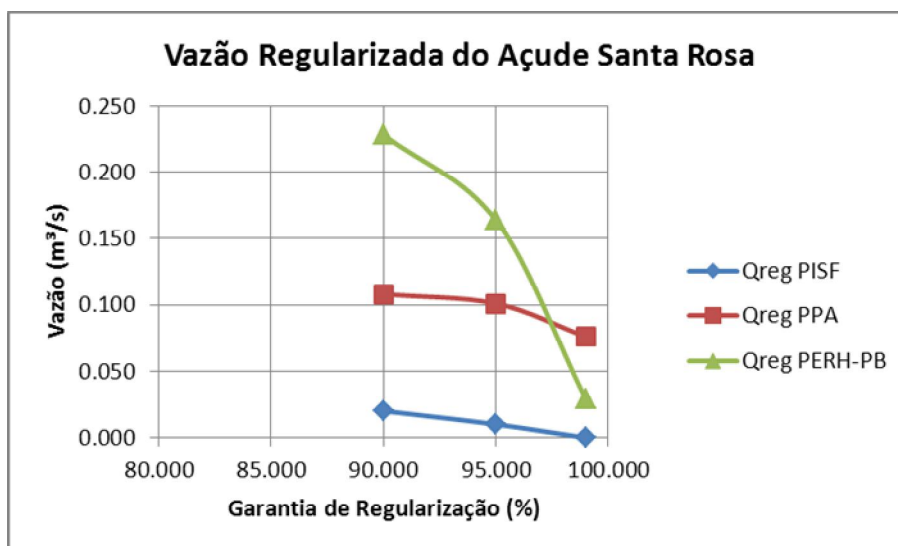


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Santa Rosa.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Santa Rosa

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)	16.579.250,00		
Bacia Hidrográfica (km²)	155,00		
Bacia Hidráulica (ha)	517,80		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,108	0,020	0,228
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,101	0,010	0,164
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,076	0,000	0,029
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	929,3	813,5	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	145,4	111,6	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	15,6	13,7	Sem dado

2.3.4.36. Vazões Regularizadas do Açude Vazante

O açude Vazante fica localizado na sub-bacia do Piancó, no município de Diamante, no Estado da Paraíba. A **Figura 2.99** mostra a localização do açude. A **Figura 2.100** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.62** apresenta as vazões regularizadas.

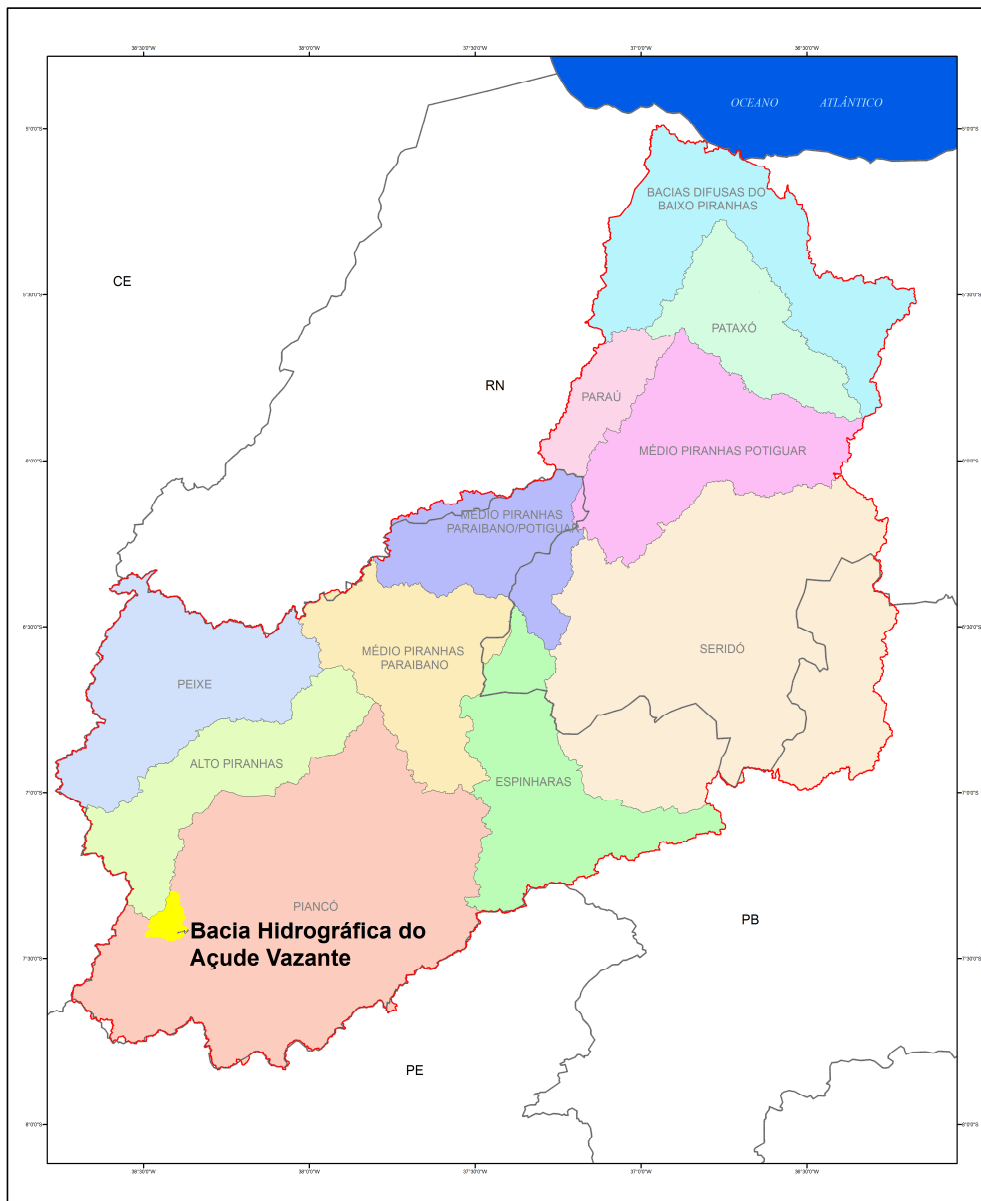


Figura 2.. Localização do açude Vazante, município de Diamante-PB.

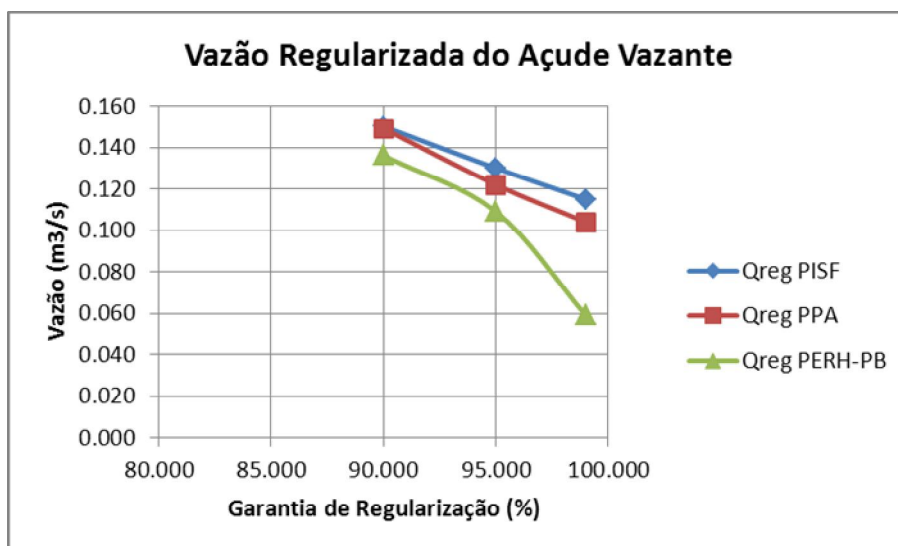


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Vazante.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Vazante

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			9.091.200,00
Bacia Hidrográfica (km²)			140,00
Bacia Hidráulica (ha)			133,76
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,149	0,150	0,136
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,122	0,130	0,109
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,104	0,115	0,059
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos PB 2005
Precipitação Média na Bacia (mm)	935,9	842,0	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	146,0	100,4	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	15,6	11,9	Sem dado

2.3.4.37. Vazões Regularizadas do Açude Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves

O açude Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves é o maior açude da bacia do Piaranhas-Açu, com capacidade de acumulação de 2,4 bilhões de metros cúbicos. O Açude fica localizado no Médio Piranhas Potiguar, no município de Açu. A **Figura 2.101** mostra a localização do açude. A **Figura 2.102** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.63** apresenta as vazões regularizadas.

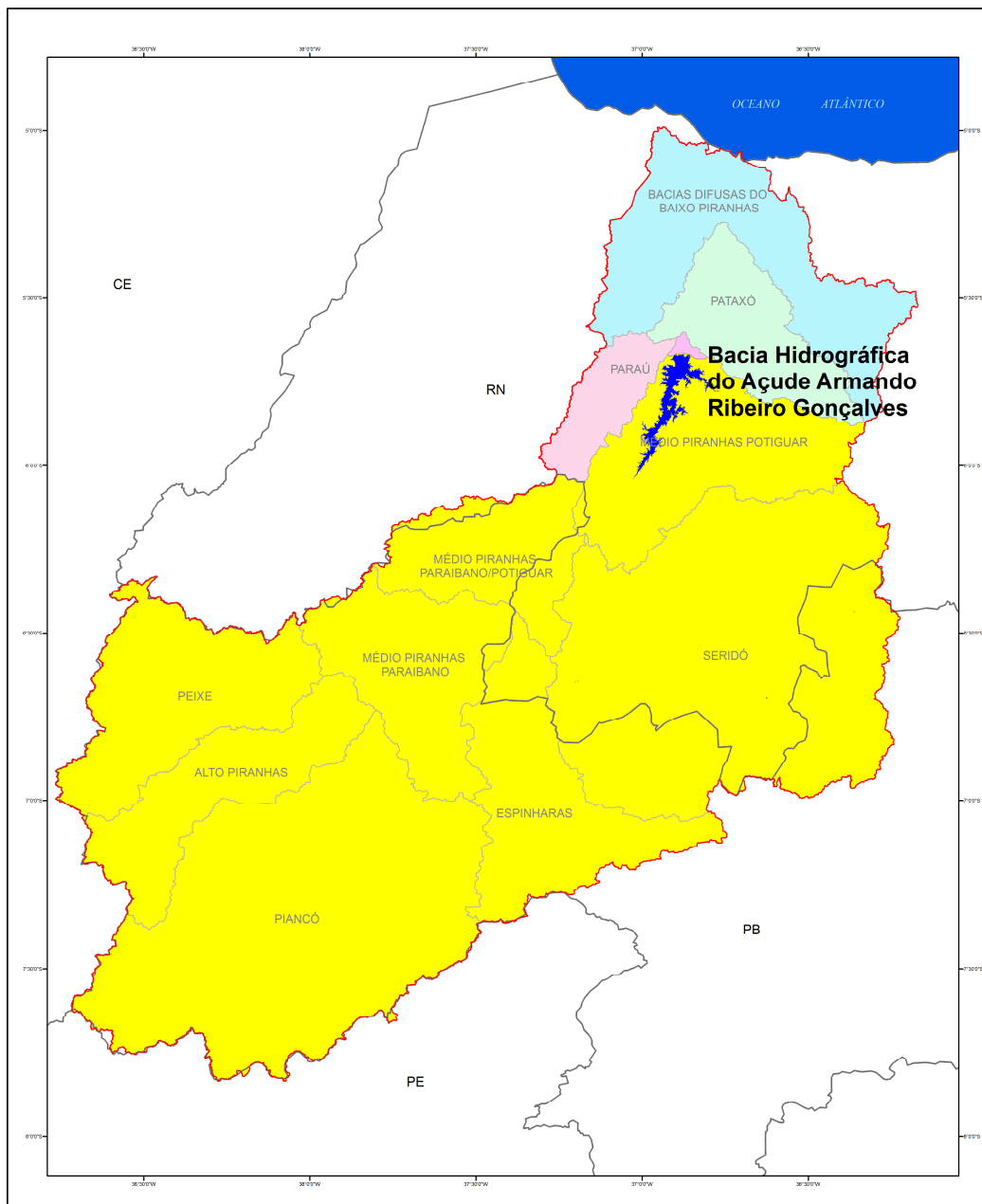


Figura 2.. Localização do açude Armando Ribeiro Gonçalves, em Açu-RN.

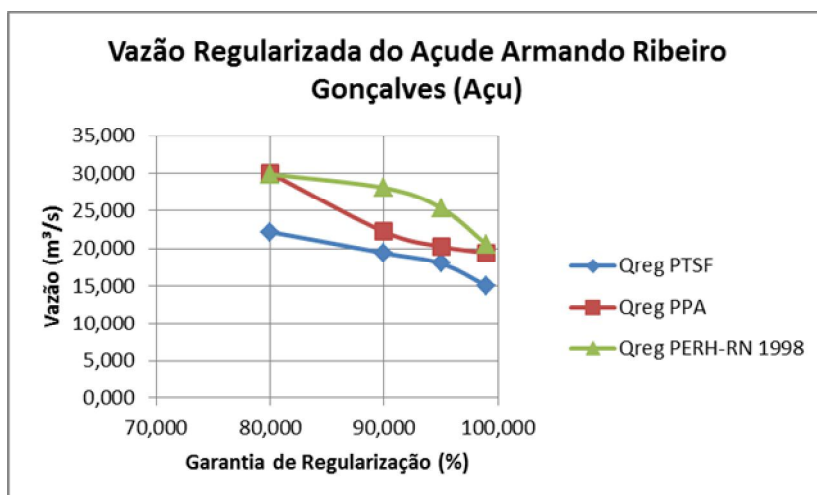


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Armando Ribeiro Gonçalves.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Eng^o Armando Ribeiro Gonçalves

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m ³)			2.400.000,000
Bacia Hidrográfica (km ²)			36.770,00
Bacia Hidráulica (ha)			19.200,00
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m ³ /s)	22,21	19,240	28,055
Vazão Regularizada 95% Garantia (m ³ /s)	20,26	17,770	25,380
Vazão Regularizada 99% Garantia (m ³ /s)	19,41	15,000	20,500
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)	780,32	699,5	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	77,40	69,3	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	9,92	9,91	Sem dado

Analisando-se as curvas da **Figura 2.101** e a **Tabela 2.63** que as vazões regularizadas para o açude Armando Ribeiro Gonçalves presentemente calculadas para o Plano do Piranhas-Açu se situam numa posição intermediária entre as vazões calculadas no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte, em 1998, e as vazões do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

Os rendimentos hidrológicos calculados no PISF e no PPA coincidem totalmente. A diferença entre as vazões regularizadas podem ser atribuídas aos mesmos fatores descritos no Item 3.3.1.1.

2.3.4.38. Vazões Regularizadas do Açude Boqueirão de Parelhas

O açude Boqueirão de Parelhas fica localizado na sub-bacia do Seridó. A **Figura 2.103** mostra a localização do açude. A **Figura 2.104** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.64** apresenta as vazões regularizadas.

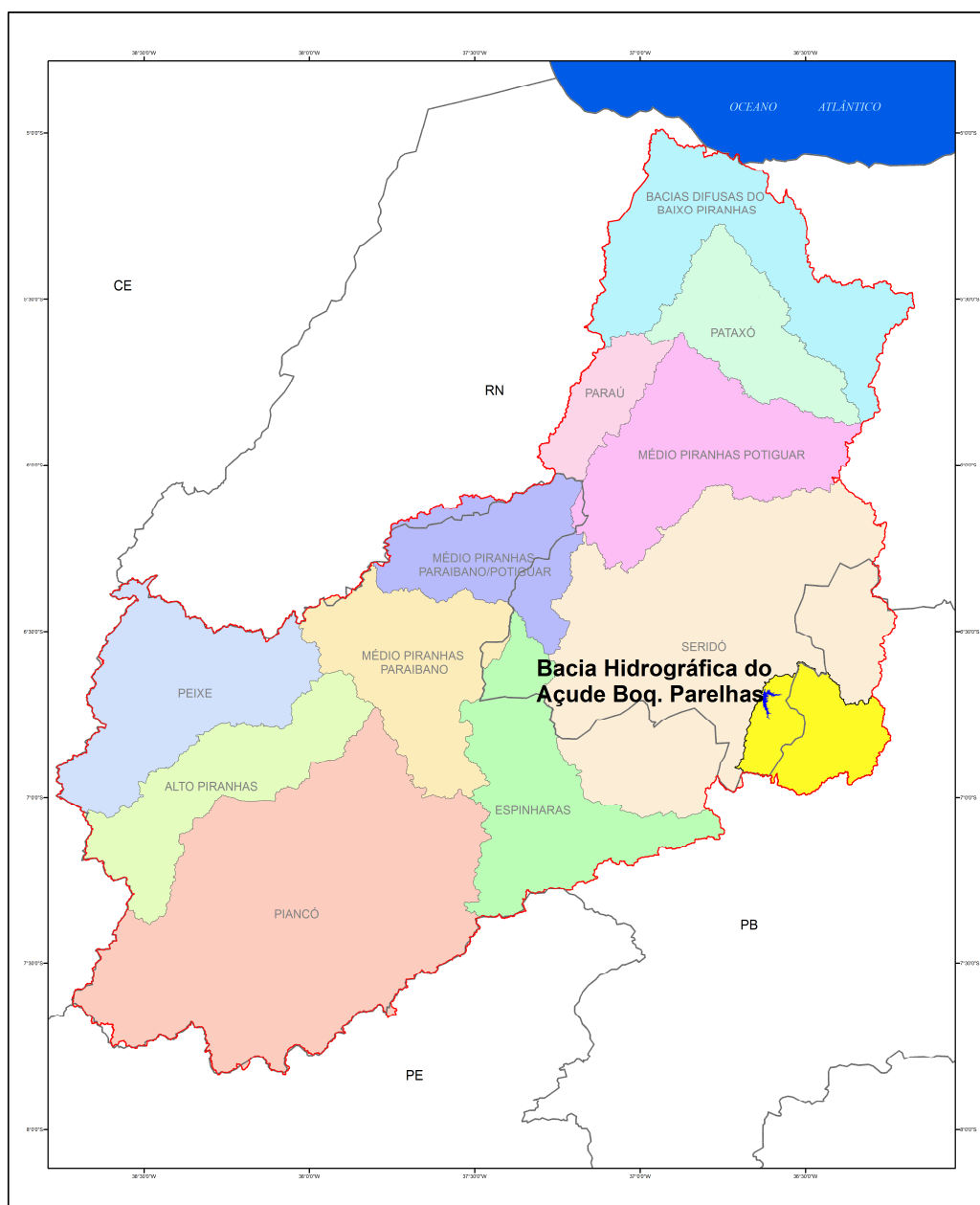


Figura 2.. Localização do açude Boqueirão de Parelhas , em Parelhas-RN.

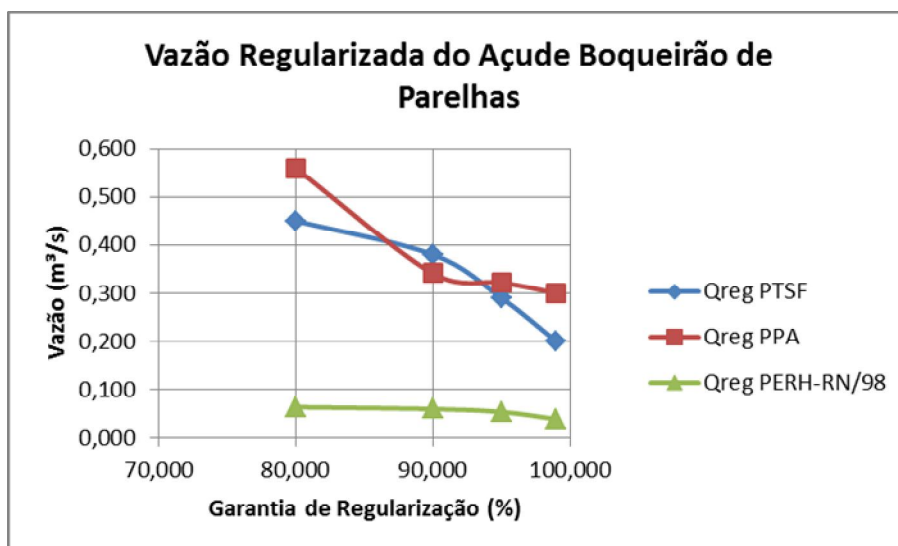


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Boqueirão de Parelhas.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Boqueirão de Parelhas

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			84.792.119
Bacia Hidrográfica (km²)			1.519,00
Bacia Hidráulica (ha)			1.326,68
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,341	0,380	0,059
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,322	0,300	0,053
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,300	0,250	0,038
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)	562,77	436,4	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	28,42	24,5	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	5,05	5,6	Sem dado

2.3.4.39. Vazões Regularizadas do Açude Itans

O açude Itans fica localizado na sub-bacia do Seridó, no município de Caicó-RN. A **Figura 2.105** mostra a localização do açude. A **Figura 2.106** mostra as curvas de regularização. A **Tabela 2.65** apresenta as vazões regularizadas.

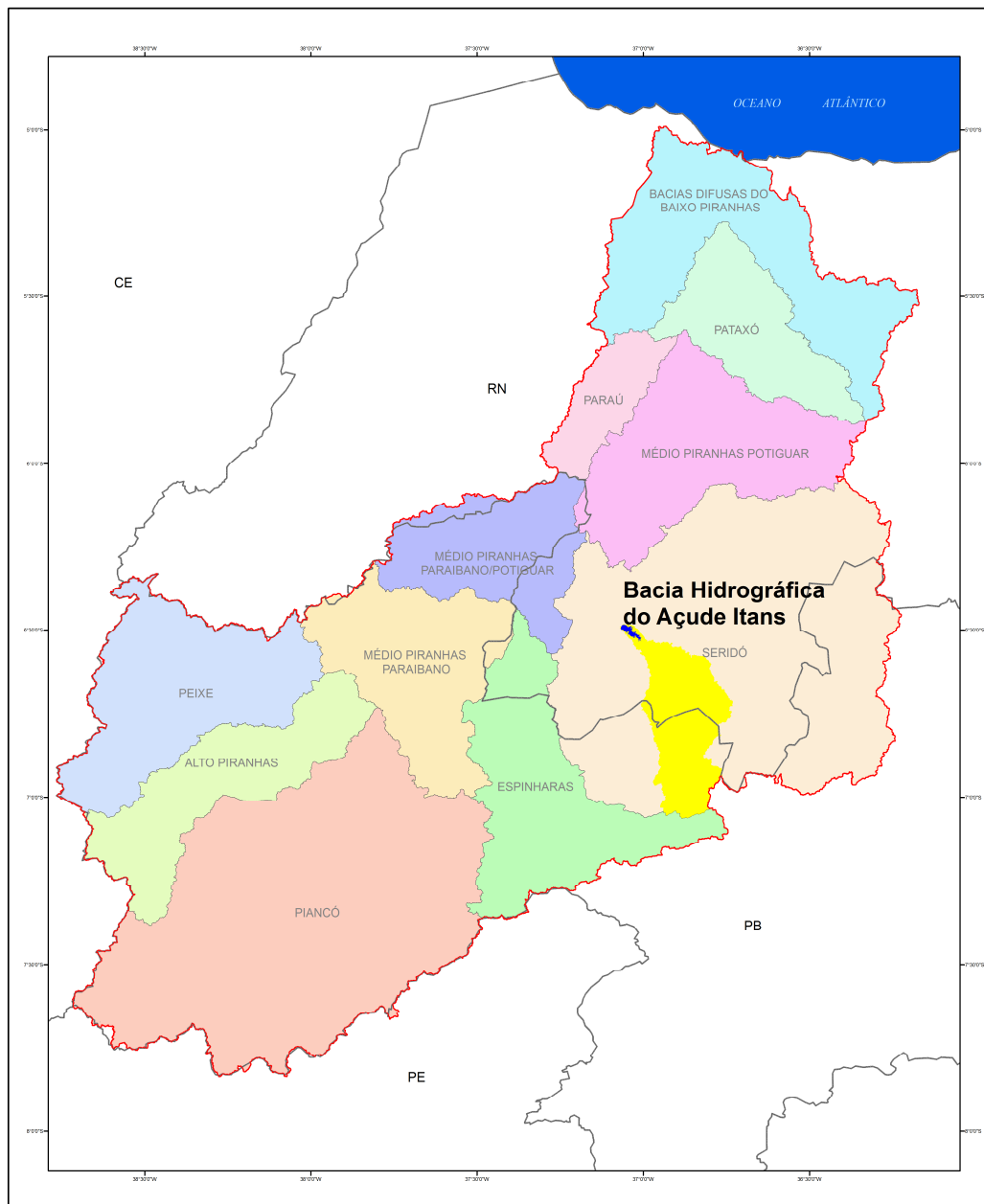


Figura 2.. Localização do açude Itans, em Caicó-RN.

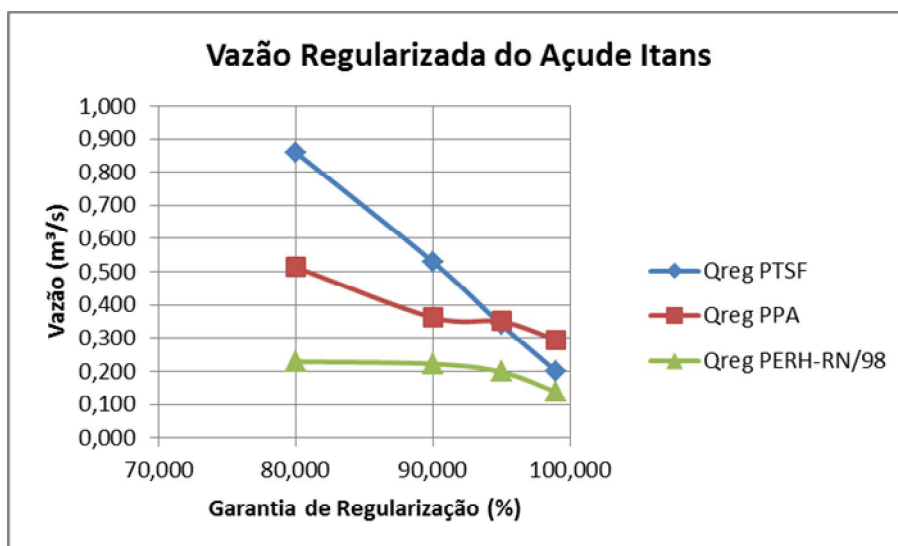


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Itans.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Itans

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)	81.750.000		
Bacia Hidrográfica (km²)	1.268,00		
Bacia Hidráulica (ha)	1.340,00		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,362	0,510	0,222
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,350	0,350	0,198
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,295	0,220	0,138
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)	692,64	543,2	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	60,61	50	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	8,75	9,2	Sem dado

2.3.4.40. Vazões Regularizadas do Açude Mendubim

O açude Mendubim fica localizado na sub-bacia do Paraú, no município de Açú. A **Figura 2.107** mostra a localização do açude. A **Figura 2.108** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.66** apresenta as vazões regularizadas.

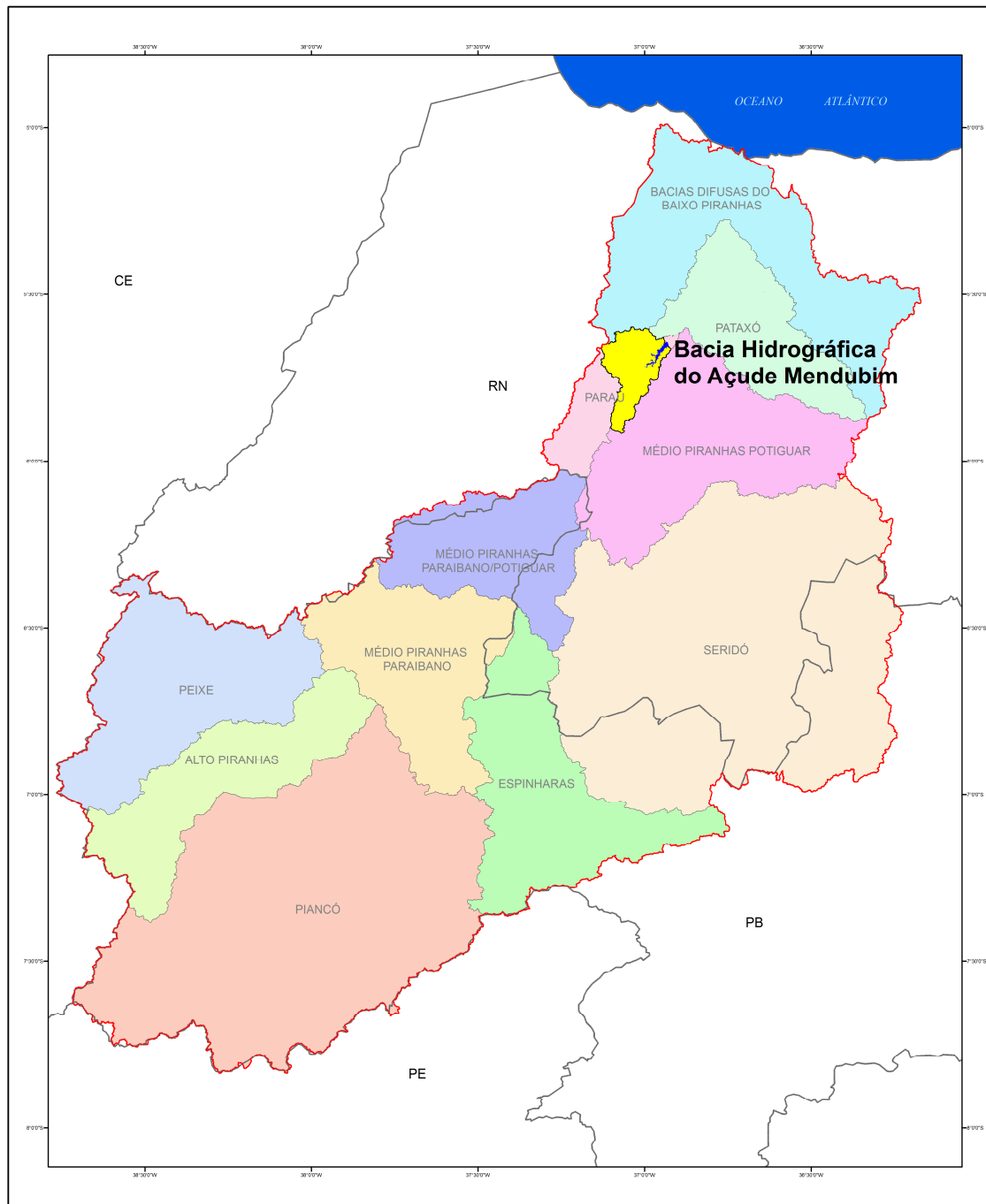


Figura 2.. Localização do açude Mendubim, no município de Açú-RN.

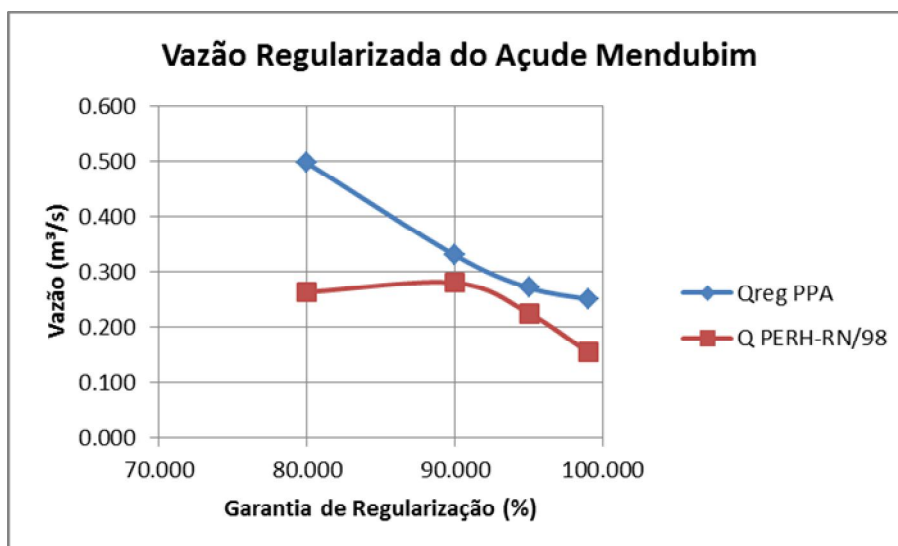


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Mendubim.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Mendubim

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			76.349.500
Bacia Hidrográfica (km²)			1.062,50
Bacia Hidráulica (ha)			970,71
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,330	Não calculada	0,222
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,271	Não calculada	0,198
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,250	Não calculada	0,138
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)	665,93	Não calculada	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	49,76	Não calculada	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	7,47	Não calculada	Sem dado

2.3.4.41. Vazões Regularizadas do Açude Sabugi

O açude Sabugi fica localizado na sub-bacia do Seridó, no município de São João do Sabugi-RN. A **Figura 2.109** mostra a localização do açude. A **Figura 2.110** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.67** apresenta as vazões regularizadas.

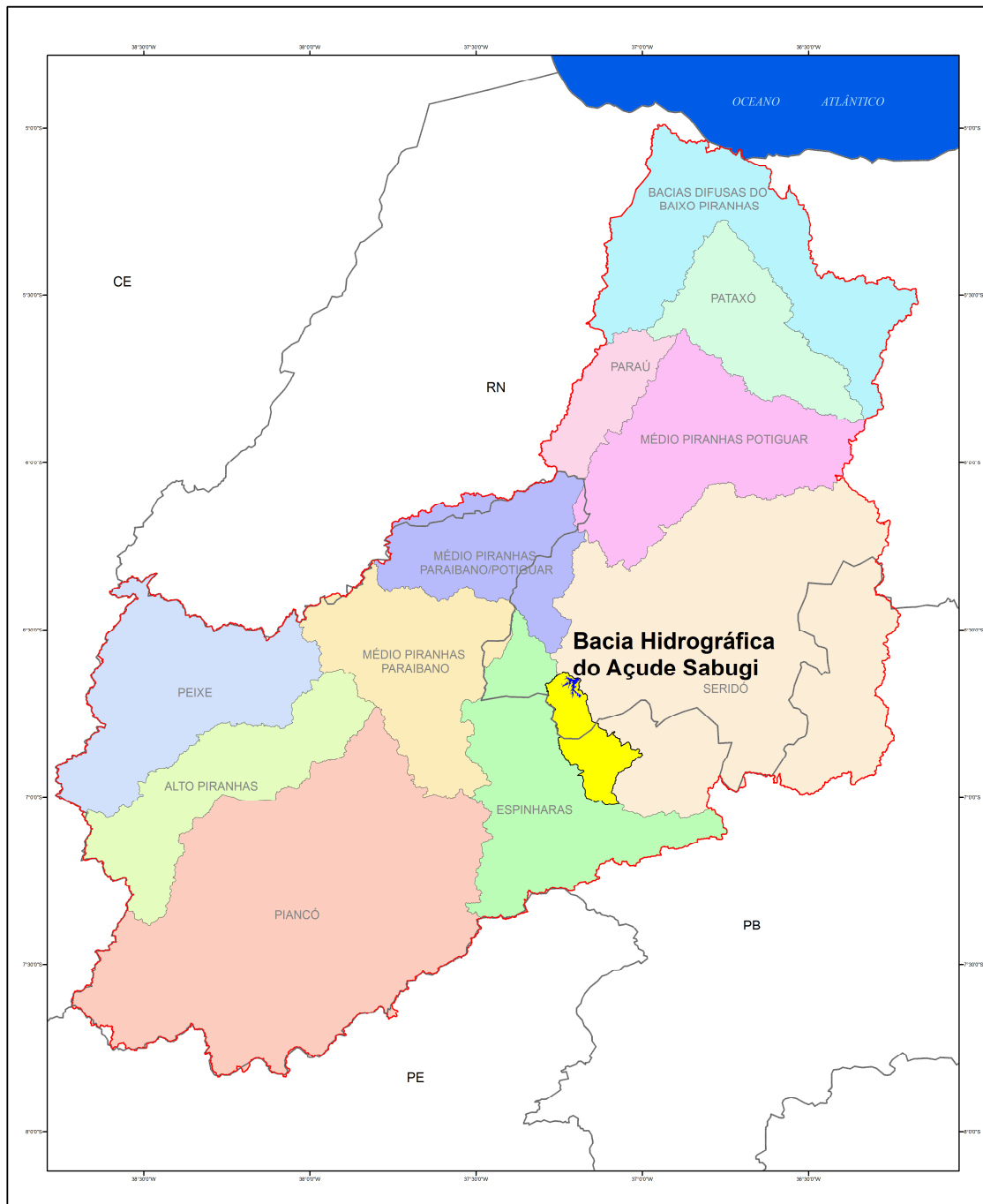


Figura 2.. Localização do açude Sabugi, em São João do Sabugi-RN.

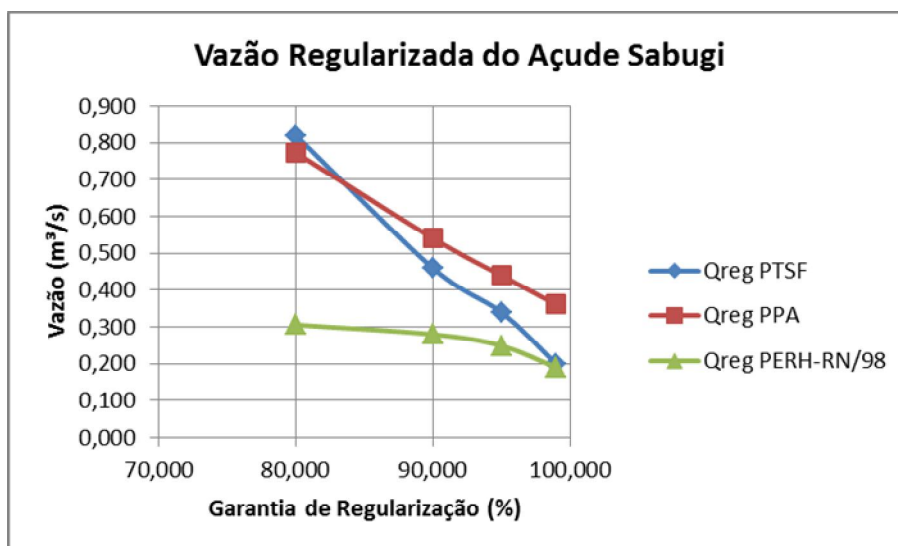


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Sabugi.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Sabugi

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			65.334.880
Bacia Hidrográfica (km²)			1.428,00
Bacia Hidráulica (ha)			1.260,38
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,541	0,460	0,280
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,440	0,330	0,249
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,361	0,220	0,190
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)	789,14	594,6	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	88,29	64,5	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	11,19	10,8	Sem dado

2.3.4.42. Vazões Regularizadas do Açude Passagem das Traíras

O açude Passagem das Traíras fica localizado na sub-bacia do Seridó, no município de Jardim do Seridó-RN. A **Figura 2.111** mostra a localização do açude. A **Figura 2.112** mostra as curvas de regularização. A **Tabela 2.68** apresenta as vazões regularizadas.

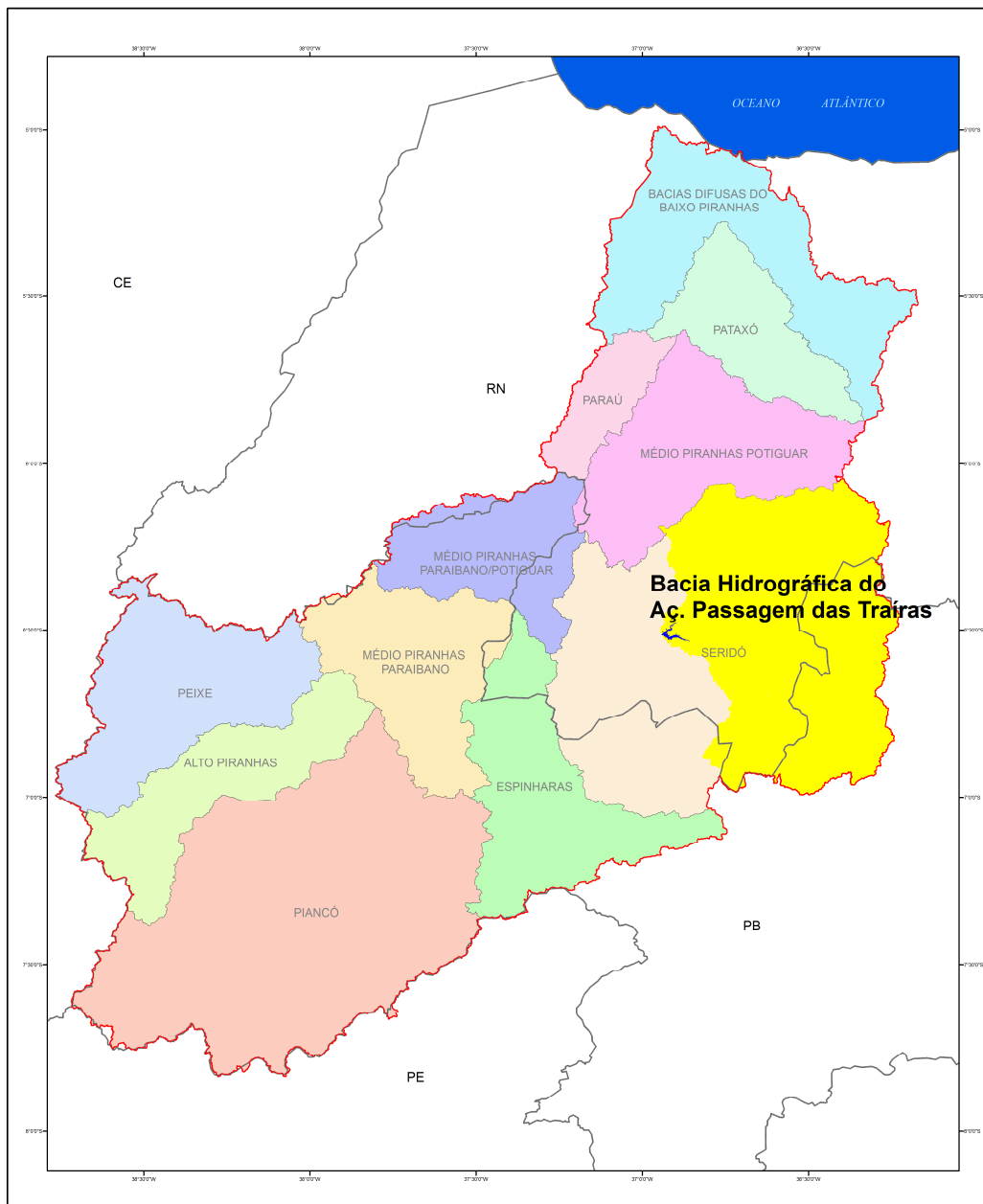


Figura 2.. Localização do açude Passagem das Traíras, em Jardim do Seridó-RN.

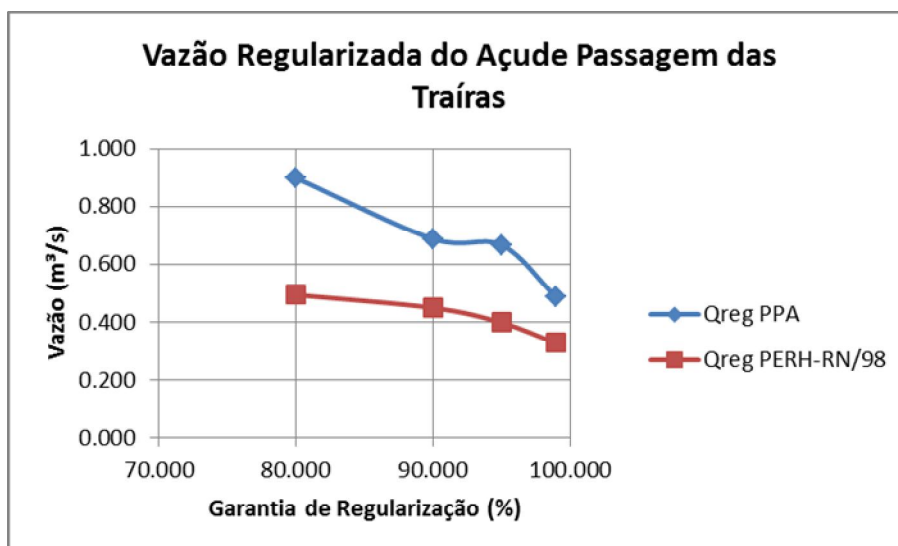


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Passagem das Traíras.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Passagem das Traíras

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			49.702.393
Bacia Hidrográfica (km²)			7.600,00
Bacia Hidráulica (ha)			1.004,82
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,688	Não calculada	0,449
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,667	Não calculada	0,398
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,486	Não calculada	0,327
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)	626,25	Não calculada	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	35,65	Não calculada	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	5,69	Não calculada	Sem dado

2.3.4.43. Vazões Regularizadas do Açude Marechal Dutra

O açude Marechal Dutra. Também conhecido por Gargalheiras, fica localizado na sub-bacia do Seridó, no município de Acari. A **Figura 2.113** mostra a localização do açude. A **Figura 2.114** mostra as curvas de vazão regularizadas. A **Tabela 2.69** apresenta as vazões regularizadas.

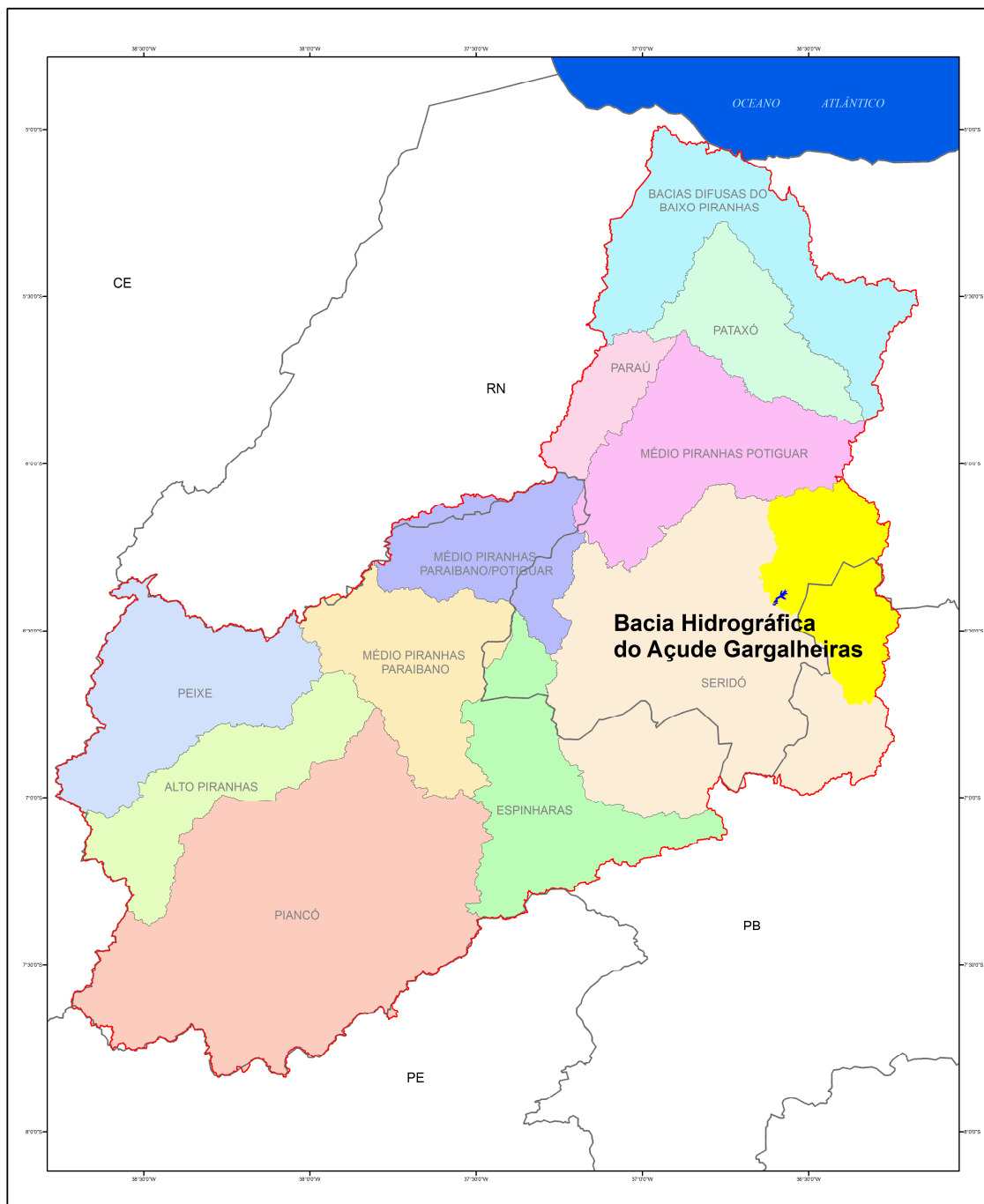


Figura 2.. Localização do açude Marechal Dutra, em Acari-RN.

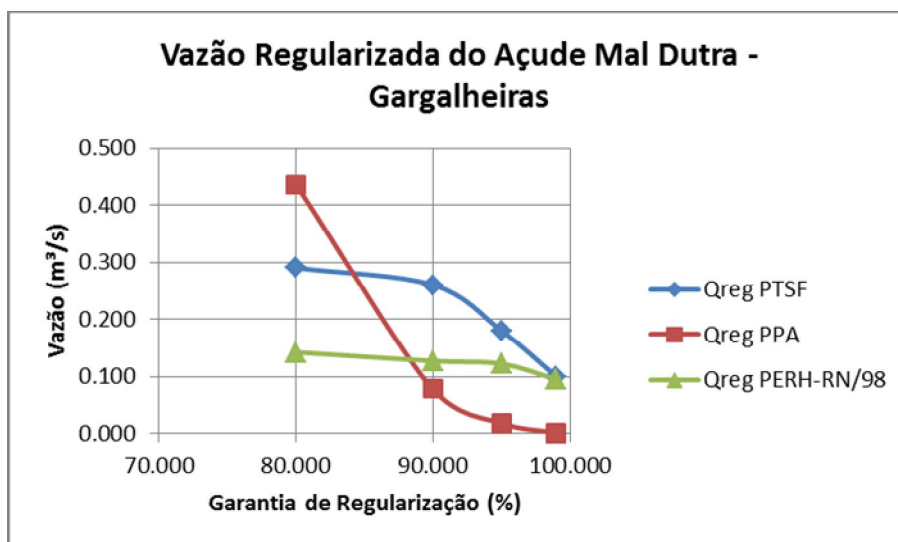


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Mal Dutra.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Marechal Dutra
Características Gerais

Capacidade de Acumulação (m³)	44.421.480		
Bacia Hidrográfica (km²)	2.400,00		
Bacia Hidráulica (ha)	780,00		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,077	0,260	0,127
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,0175	0,190	0,122
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,00069	0,130	0,095
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)	578,18	444,9	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	34,18	22,1	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	5,91	5,0	Sem dado

2.3.4.4. Vazões Regularizadas do Açude Cruzeta

O açude Cruzeta fica localizado na sub-bacia do Seridó, no município de Cruzeta. A **Figura 2.115** mostra a localização do açude. A **Figura 2.116** mostra as curvas de regularização de vazões. A **Tabela 2.70** apresenta as vazões regularizadas.

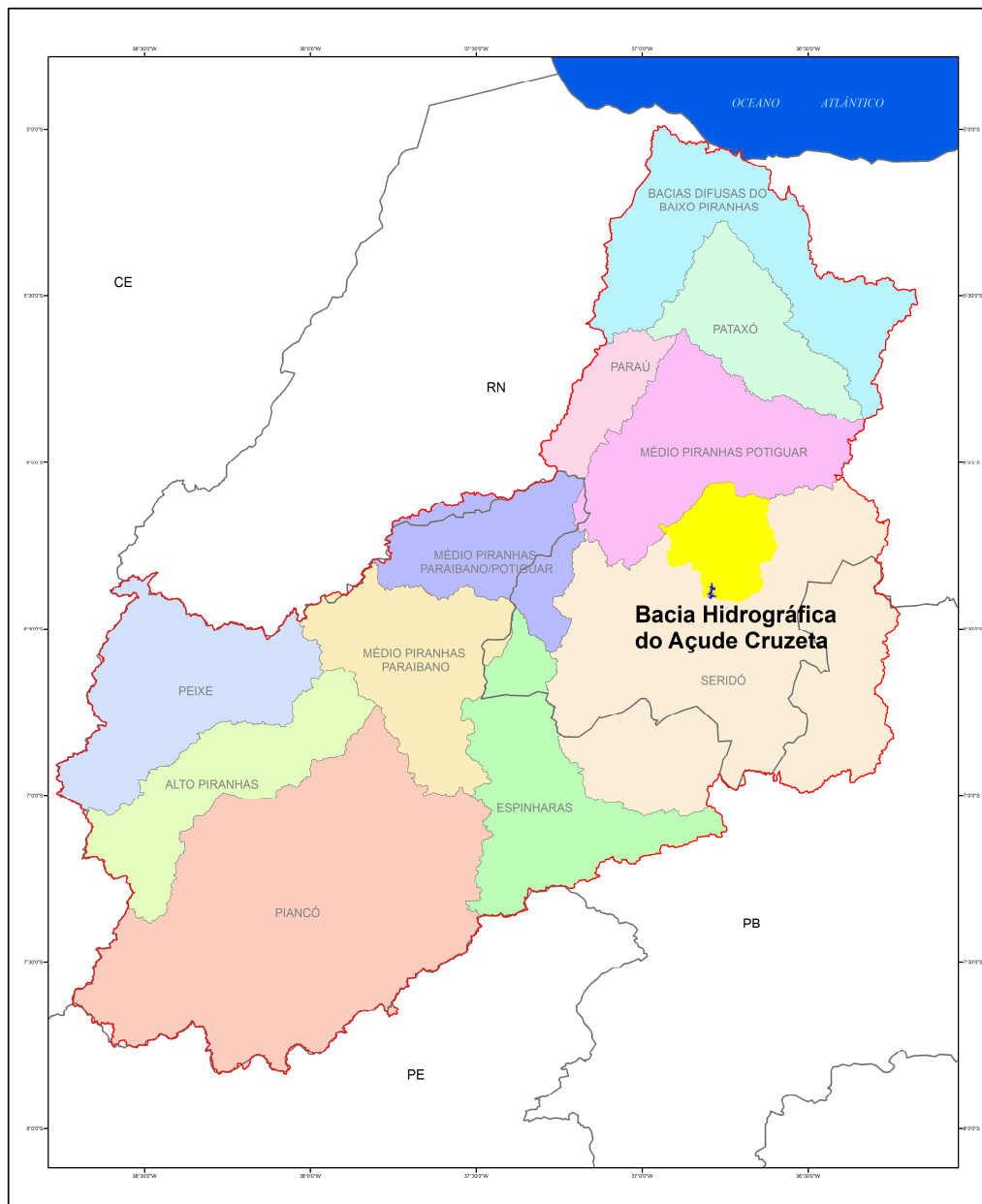


Figura 2.. Localização do açude Cruzeta, em Cruzeta-RN.

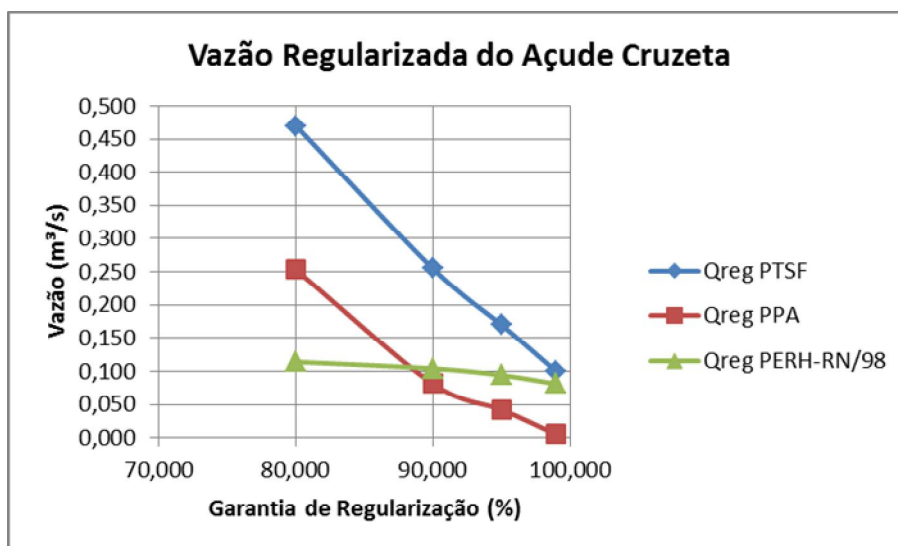


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Cruzeta.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Cruzeta

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			35.000.000
Bacia Hidrográfica (km²)			1.400,00
Bacia Hidráulica (ha)			748,79
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,081	0,250	0,104
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,042	0,170	0,094
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,005	0,100	0,081
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)	627,05	544,2	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	38,37	41,6	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	6,12	7,6	Sem dado

2.3.4.45. Vazões Regularizadas do Açude Carnaúba

O açude Carnaúba fica localizado na sub-bacia do Seridó, no município de São João do Sabugi. A **Figura 2.117** mostra a localização do açude. A **Figura 2.118** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.71** apresenta as vazões regularizadas.

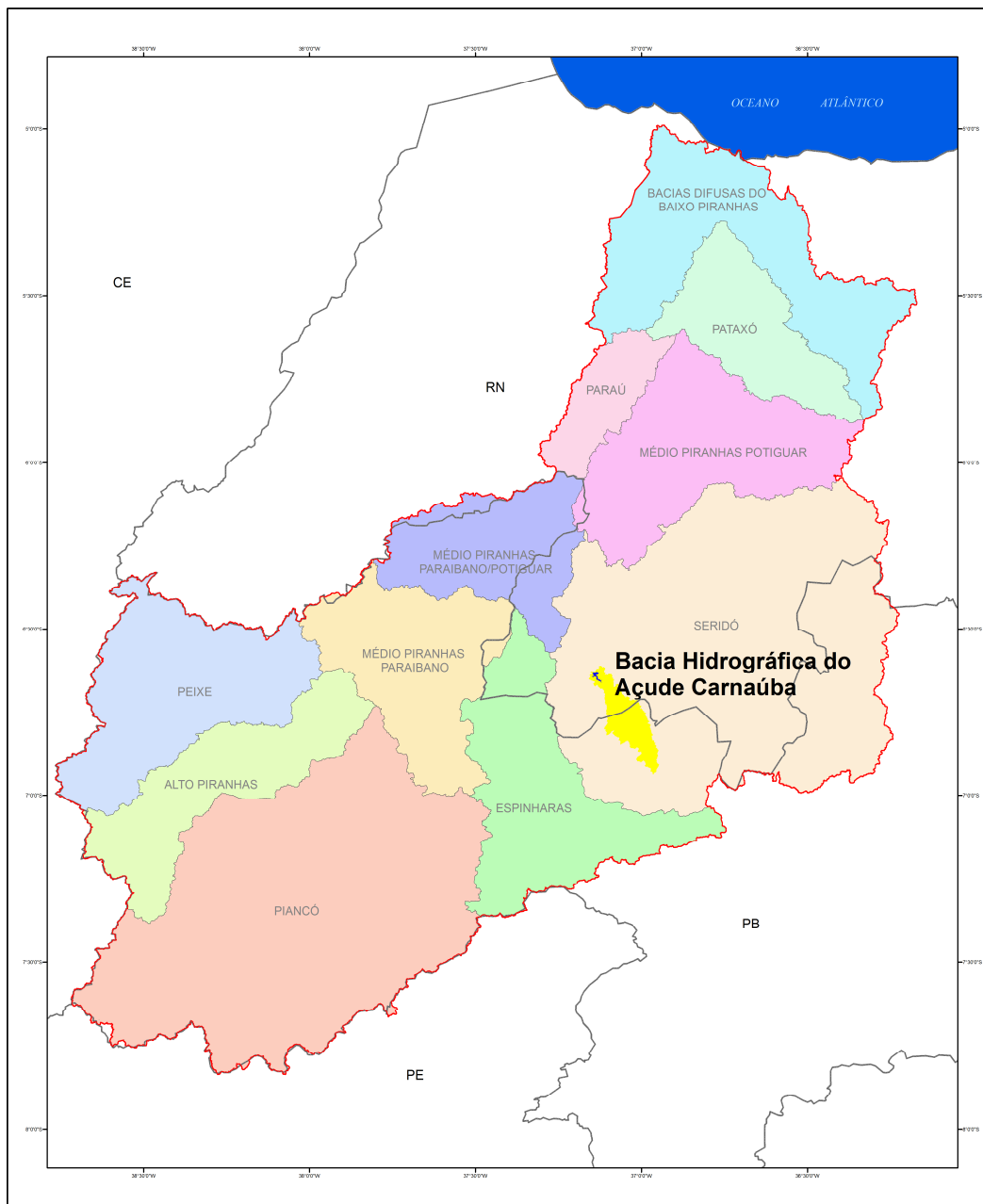


Figura 2.. Localização do açude Carnaúba, em São João do Sabugi-RN.

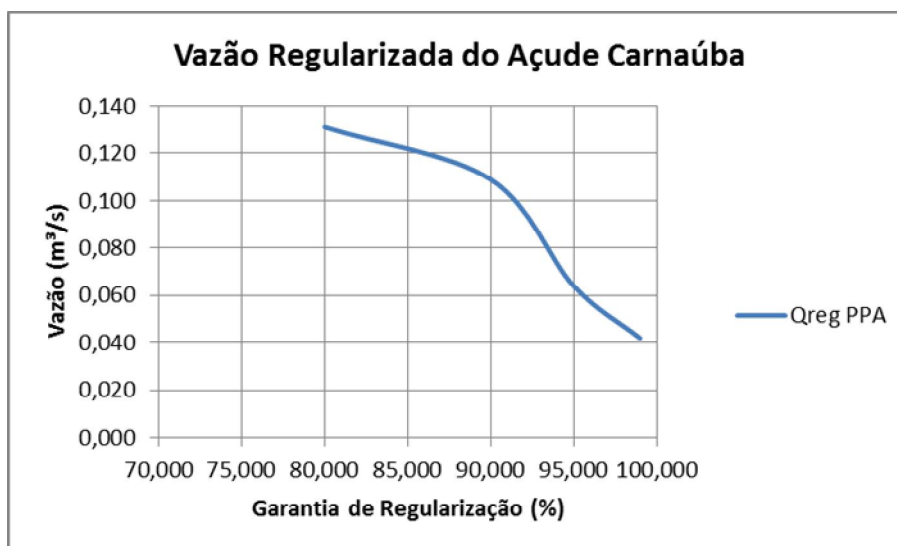


Figura 2.. Curva de vazão regularizada do açude Carnaúba.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Carnaúba

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)	25.710.900		
Bacia Hidrográfica (km²)	329,0		
Bacia Hidráulica (ha)	506,5		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,109	Não Calculada	Não Calculada
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,064	Não Calculada	Não Calculada
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,042	Não Calculada	Não Calculada
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)		Não Calculada	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)		Não Calculada	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)		Não Calculada	Sem dado

2.3.4.46. Vazões Regularizadas do Açude Pataxó

O açude Pataxós fica localizado na sub-bacia do Pataxós, no município de Ipanguaçu. A **Figura 2.119** mostra a localização do açude. A **Figura 2.120** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.72** apresenta as vazões regularizadas.

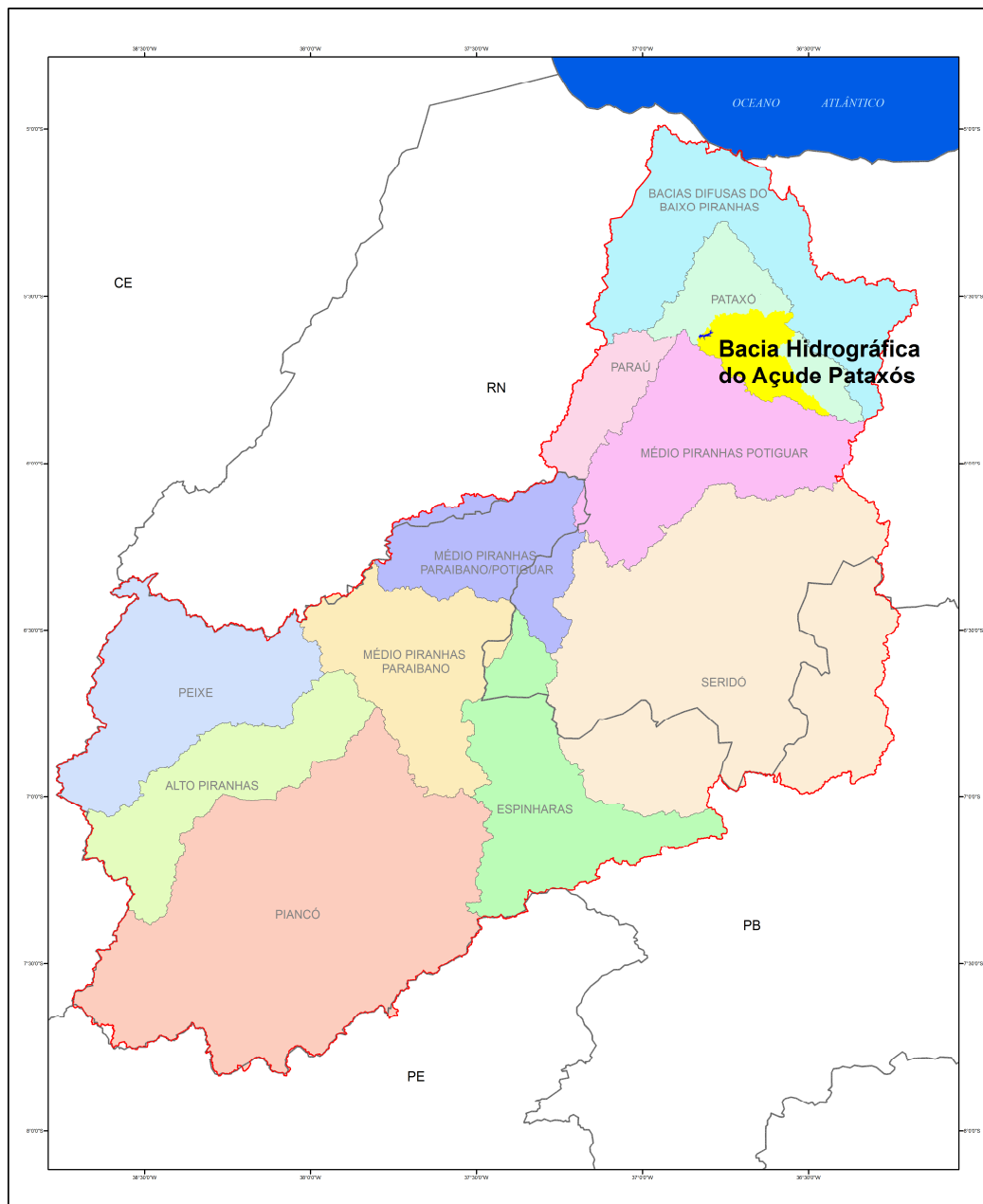


Figura 2.. Localização do açude Pataxós, em Ipanguaçu-RN.

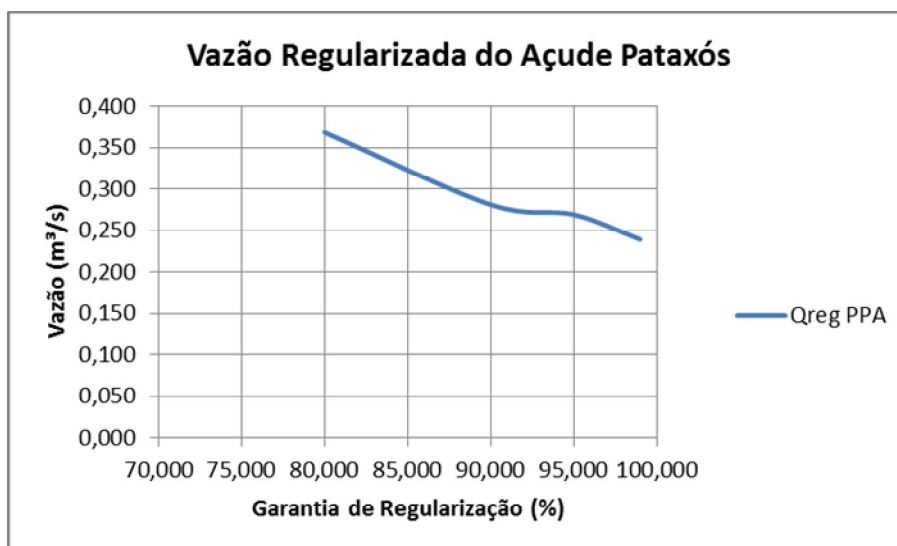


Figura 2.. Curva de vazões regularizadas do açude Pataxós.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Pataxó

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			15.017.379
Bacia Hidrográfica (km²)			900,00
Bacia Hidráulica (ha)			300,00
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,281	Não calculada	0
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,269	Não calculada	0
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,239	Não calculada	0
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)		Não calculada	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)		Não calculada	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)		Não calculada	Sem dado

2.3.4.47. Vazões Regularizadas do Açude Esguincho

O açude Esguincho fica localizado na sub-bacia do Seridó, no município de Ouro Branco. A **Figura 2.121** mostra a localização do açude. A **Figura 2.122** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.73** apresenta as vazões regularizadas.

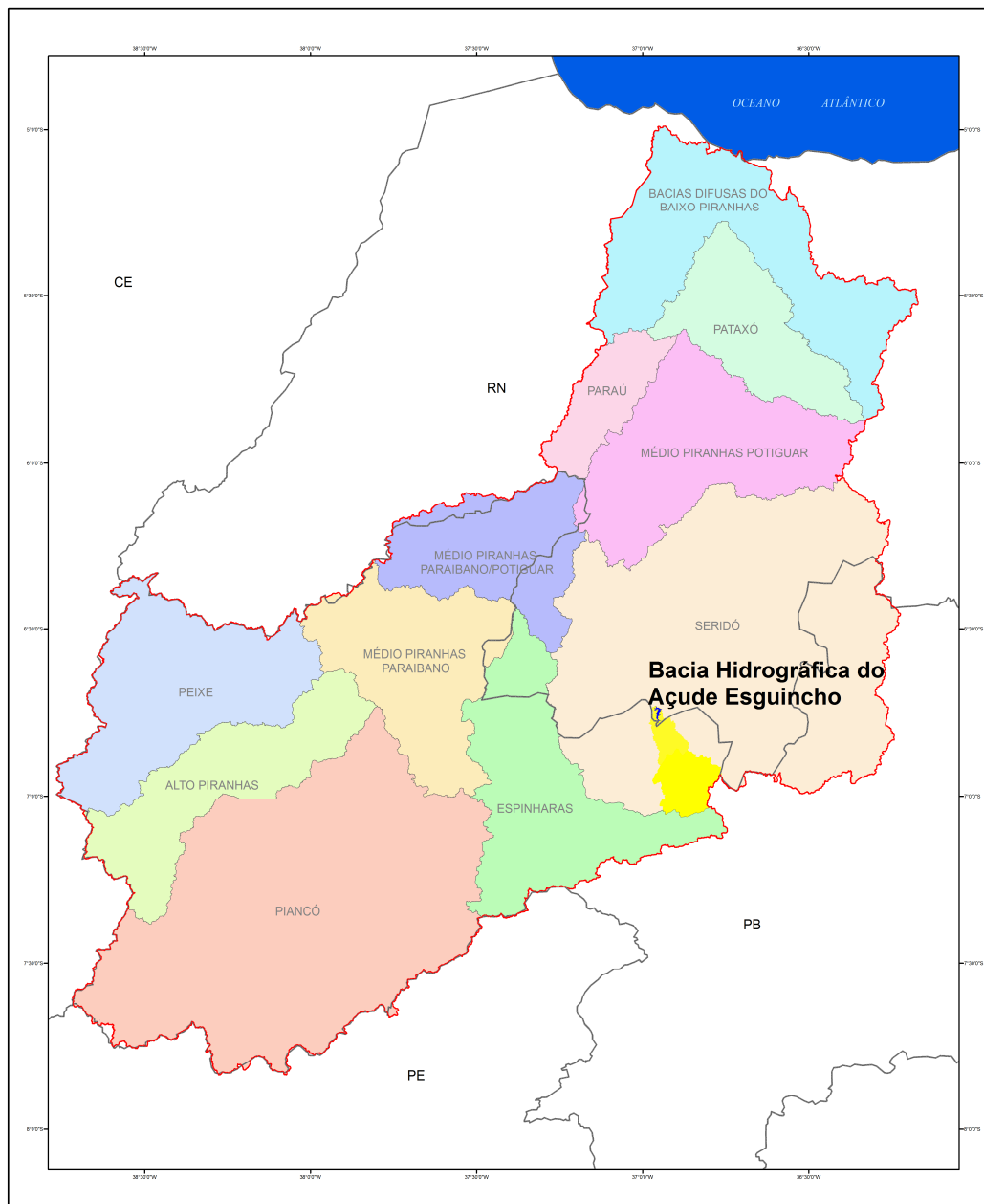


Figura 2.. Localização do açude Esguincho, em Ouro Branco-RN.

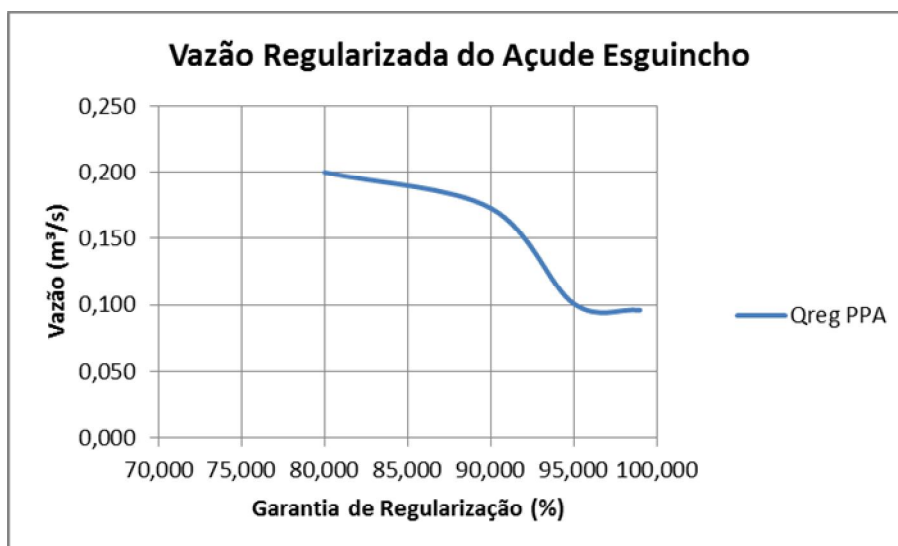


Figura 2.. Curva de vazão regularizada do açude Esguincho.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Esguincho

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m ³)			27.937.310
Bacia Hidrográfica (km ²)			448,0
Bacia Hidráulica (ha)			430,18
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m ³ /s)	0,173	Não calculada	Não calculada
Vazão Regularizada 95% Garantia (m ³ /s)	0,101	Não calculada	Não calculada
Vazão Regularizada 99% Garantia (m ³ /s)	0,096	Não calculada	Não calculada
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)		Não calculada	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)		Não calculada	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)		Não calculada	Sem dado

2.3.4.48. Vazões Regularizadas do Açude Boqueirão de Angicos

O açude Boqueirão de Angicos fica localizado na sub-bacia das bacias difusas do baixo Piaranhas, no município de Angicos. A **Figura 2.123** mostra a localização do açude. A **Figura 2.124** mostra as curvas de vazões regularizadas. A **Tabela 2.74** apresenta as vazões regularizadas.

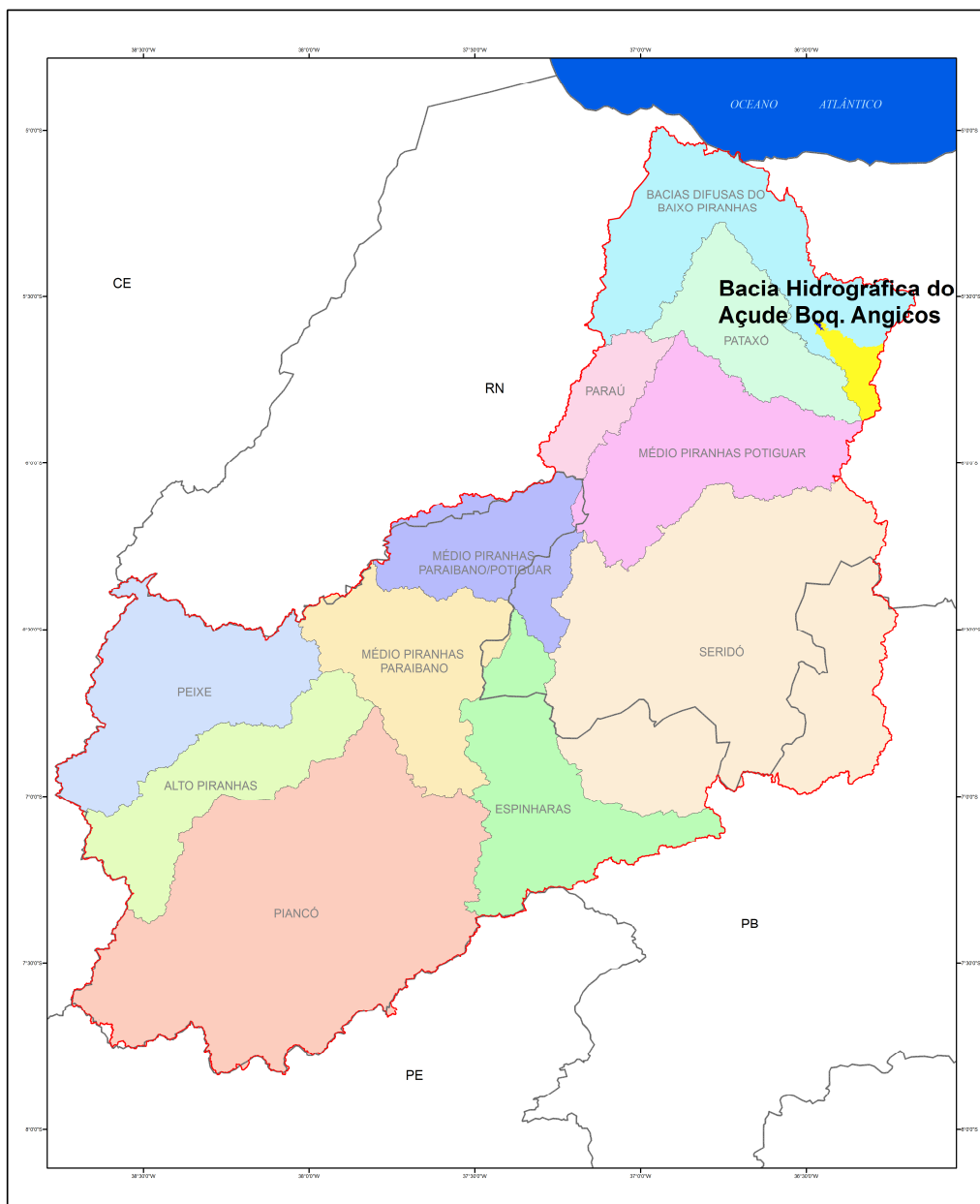


Figura 2.. Localização do açude Boqueirão de Angicos, em Angicos-RN.

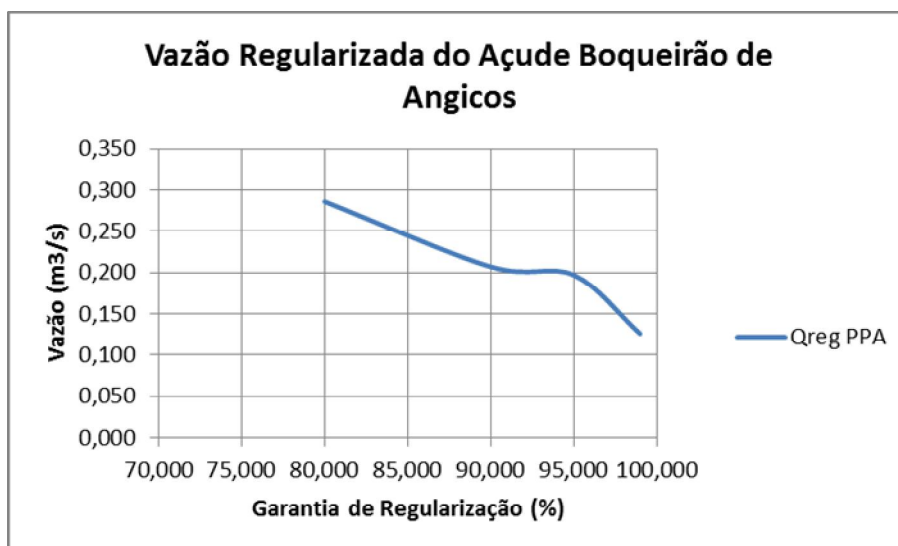


Figura 2.. Curvas de vazões regularizadas do açude Boqueirão de Angicos

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Boqueirão de Angicos
Características Gerais

Capacidade de Acumulação (m³)				16.018.307
Bacia Hidrográfica (km²)				351,20
Bacia Hidráulica (ha)				381,69
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998	
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,207	Não calculada	0	
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,197	Não calculada	0	
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,126	Não calculada	0	
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998	
Precipitação Média na Bacia (mm)			Sem dado	
Deflúvio Médio (mm)			Sem dado	
Coefficiente de Escoamento (%)			Sem dado	

2.3.4.49. Vazões Regularizadas do Açude Rio da Pedra

O açude Rio da Pedra fica localizado na sub-bacia do Médio Piranhas Potiguar, no município de Santana do Mato. A **Figura 2.125** mostra a localização do açude. A **Figura 2.126** mostra as curvas de regularização de vazões. A **Tabela 2.75** apresenta as vazões regularizadas.

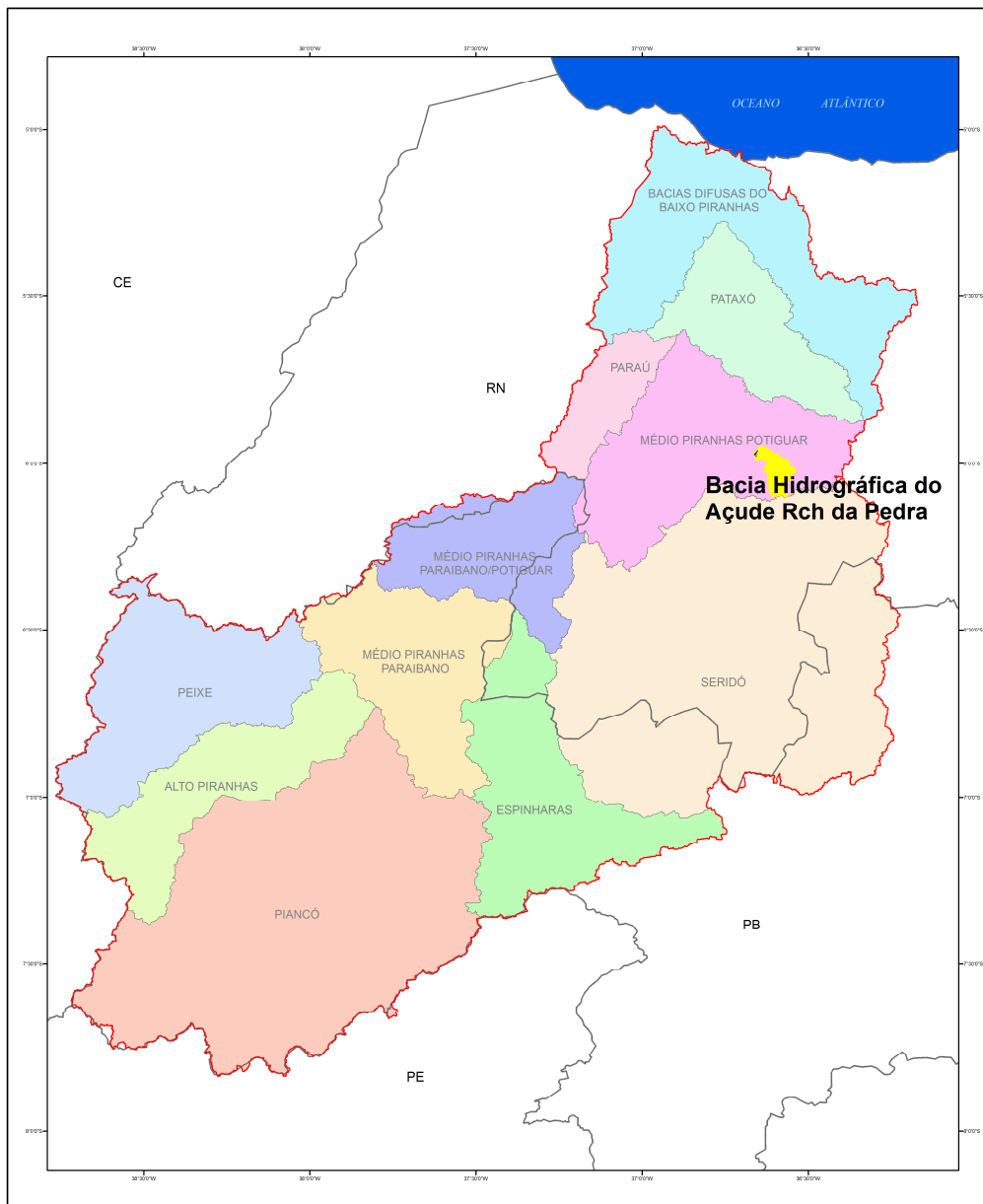


Figura 2.. localização do açude Rio da Pedra, em Santana do Mato-RN.

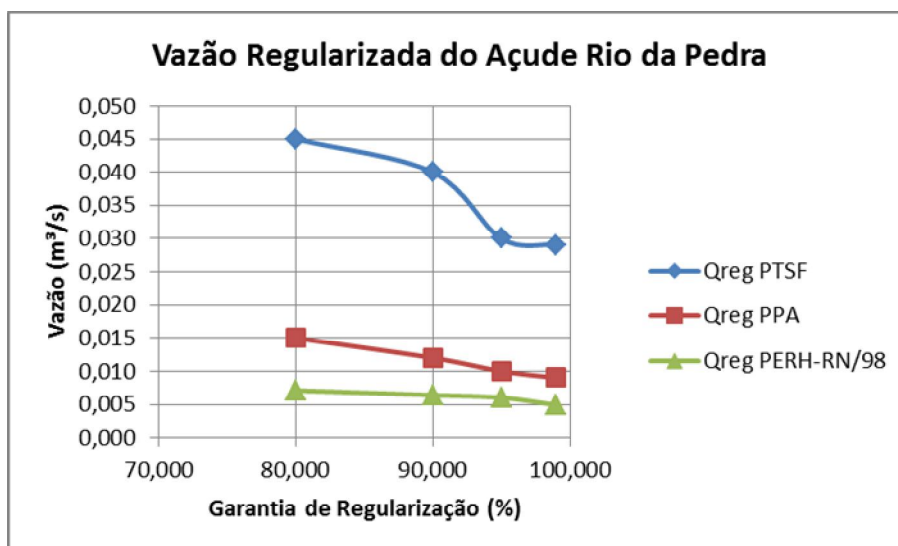


Figura 2.. Curvas de regularização de vazão do açude Rio da Pedra.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Rio da Pedra
Características Gerais

Capacidade de Acumulação (m³)	13.602.214		
Bacia Hidrográfica (km²)	122,00		
Bacia Hidráulica (ha)	270,00		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,012	0,040	0,0064
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,010	0,030	0,006
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,009	0,000	0,0049
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)	586,39	684,3	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	35,38	98,0	Sem dado
Coeficiente de Escoamento (%)	6,03	14,3	Sem dado

2.3.4.50. Vazões Regularizadas do Açude Beldroega

O açude Beldroega fica localizado na sub-bacia do Paraú, no município de Paraú. A **Figura 2.127** mostra a localização do açude. A **Figura 2.128** mostra as curvas de regularização de vazão. A **Tabela 2.76** apresenta as vazões regularizadas.

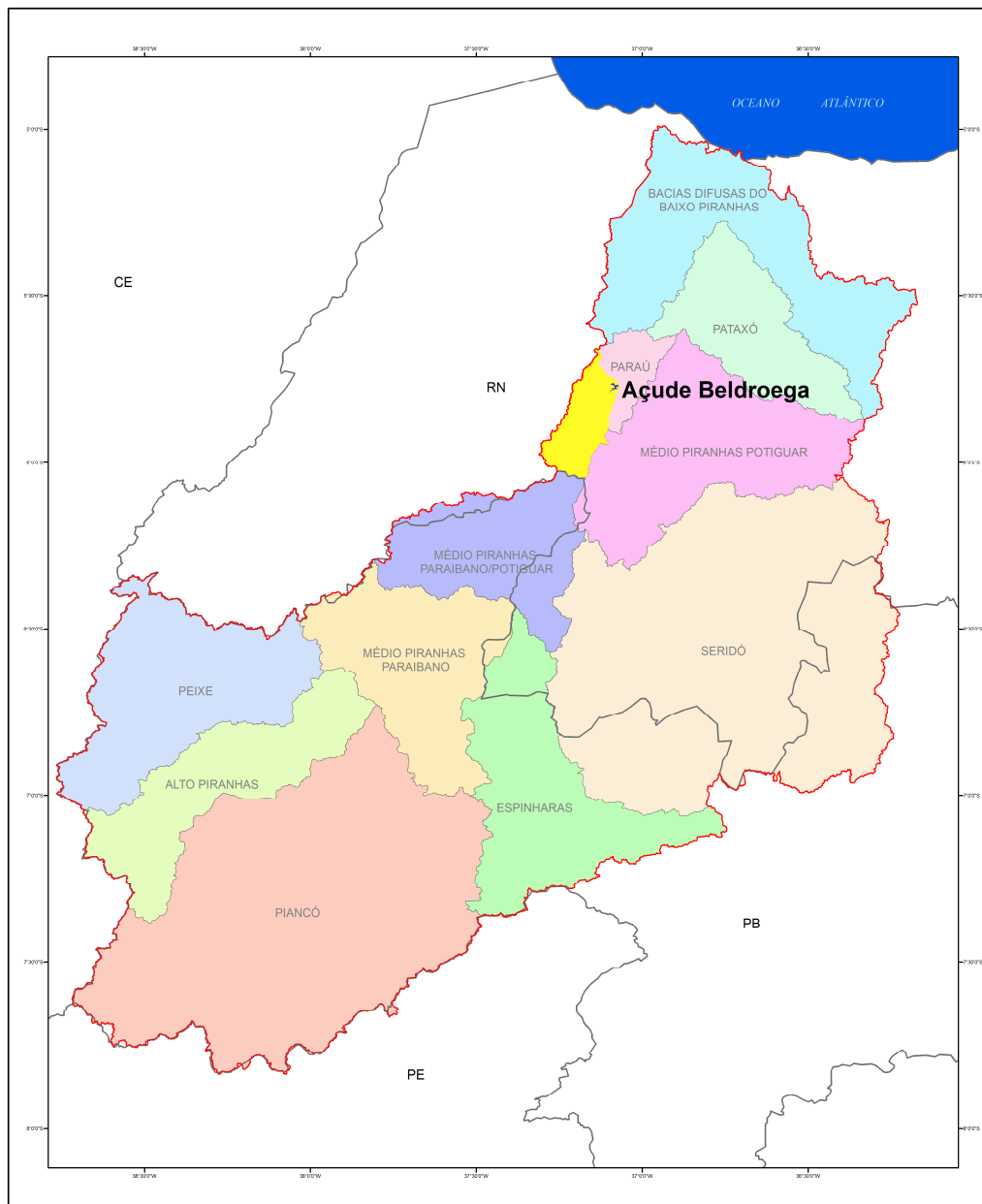


Figura 2.. Localização do açude Beldroega, em Paraú.

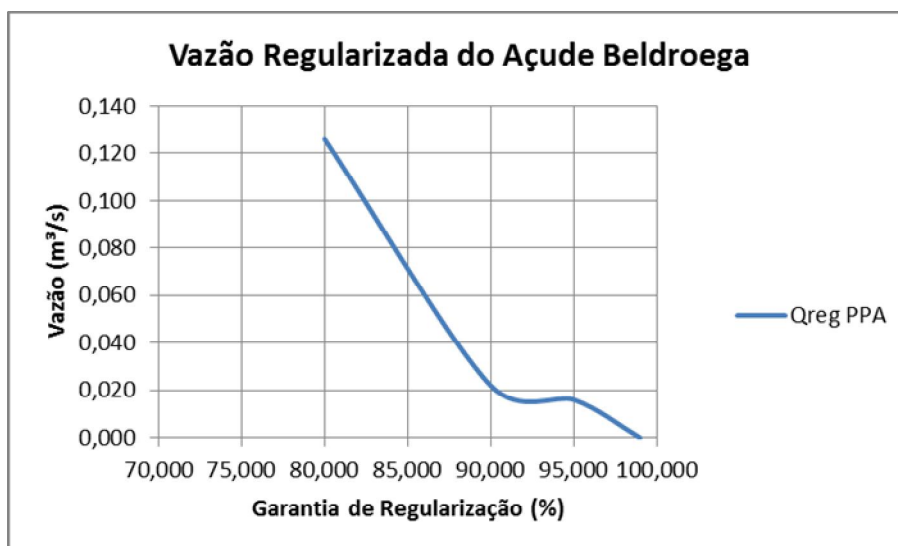


Figura 2.. Curva de regularização do açude Beldroega

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Beldroega

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)	8.057.520		
Bacia Hidrográfica (km²)	510,00		
Bacia Hidráulica (ha)	421,30		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,022	Não calculada	Não calculada
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,016	Não calculada	Não calculada
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,000	Não calculada	Não calculada
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)		Não calculada	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)		Não calculada	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)		Não calculada	Sem dado

2.3.4.51. Vazões Regularizadas do Açude Dourado

O açude Dourado fica localizado na sub-bacia do Seridó, no município de Currais Novos. A **Figura 2.129** mostra a localização do açude. A **Figura 2.130** mostra as curvas de regularização de vazão. A **Tabela 2.77** apresenta as vazões regularizadas.

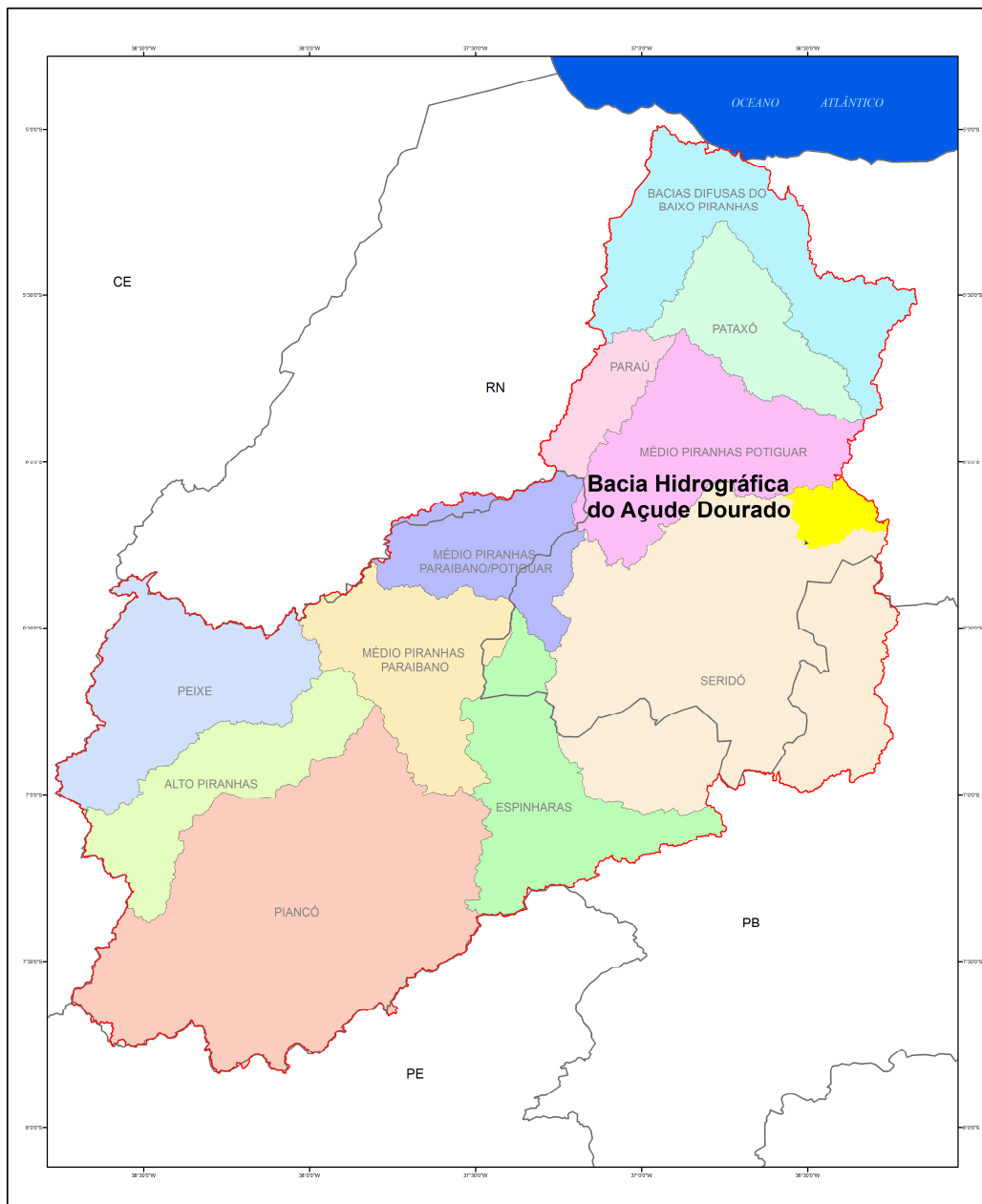


Figura 2.. Localização do açude Dourado, em Currais Novos-RN.

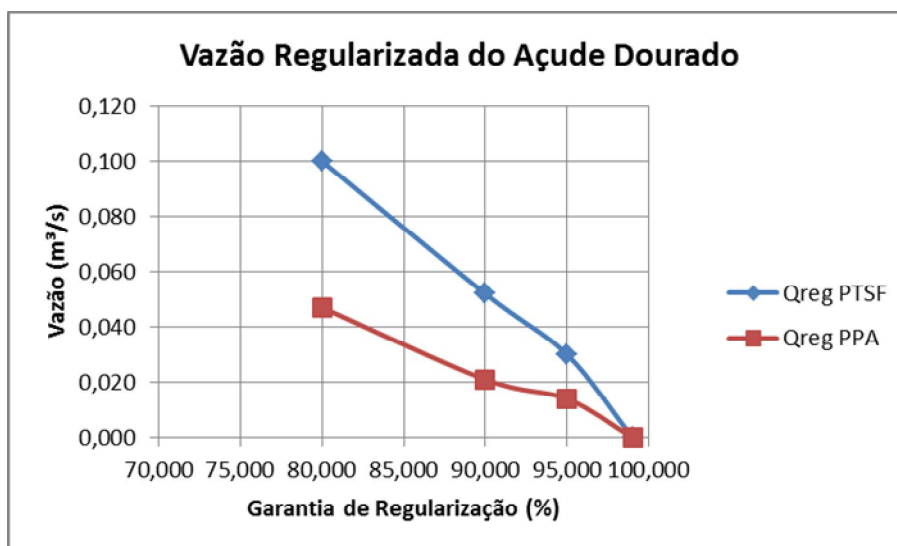


Figura 2.. Curva de regularização de vazão do açude Dourado.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Dourado

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)			10.321.600
Bacia Hidrográfica (km²)			501,84
Bacia Hidráulica (ha)			316,00
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,021	0,050	0
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,014	0,030	0
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,000032	0,000	0
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)	562,02	554,8	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	28,21	43,2	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	5,02	7,8	Sem dado

2.3.4.52. Vazões Regularizadas do Açude Caldeirão de Parelhas

O açude Caldeirão de Parelhas fica localizado na sub-bacia do Seridó, no município de Parelhas. A **Figura 2.131** mostra a localização do açude. A **Figura 2.132** mostra as curvas de regularização de vazão. A **Tabela 2.78** apresenta as vazões regularizadas.

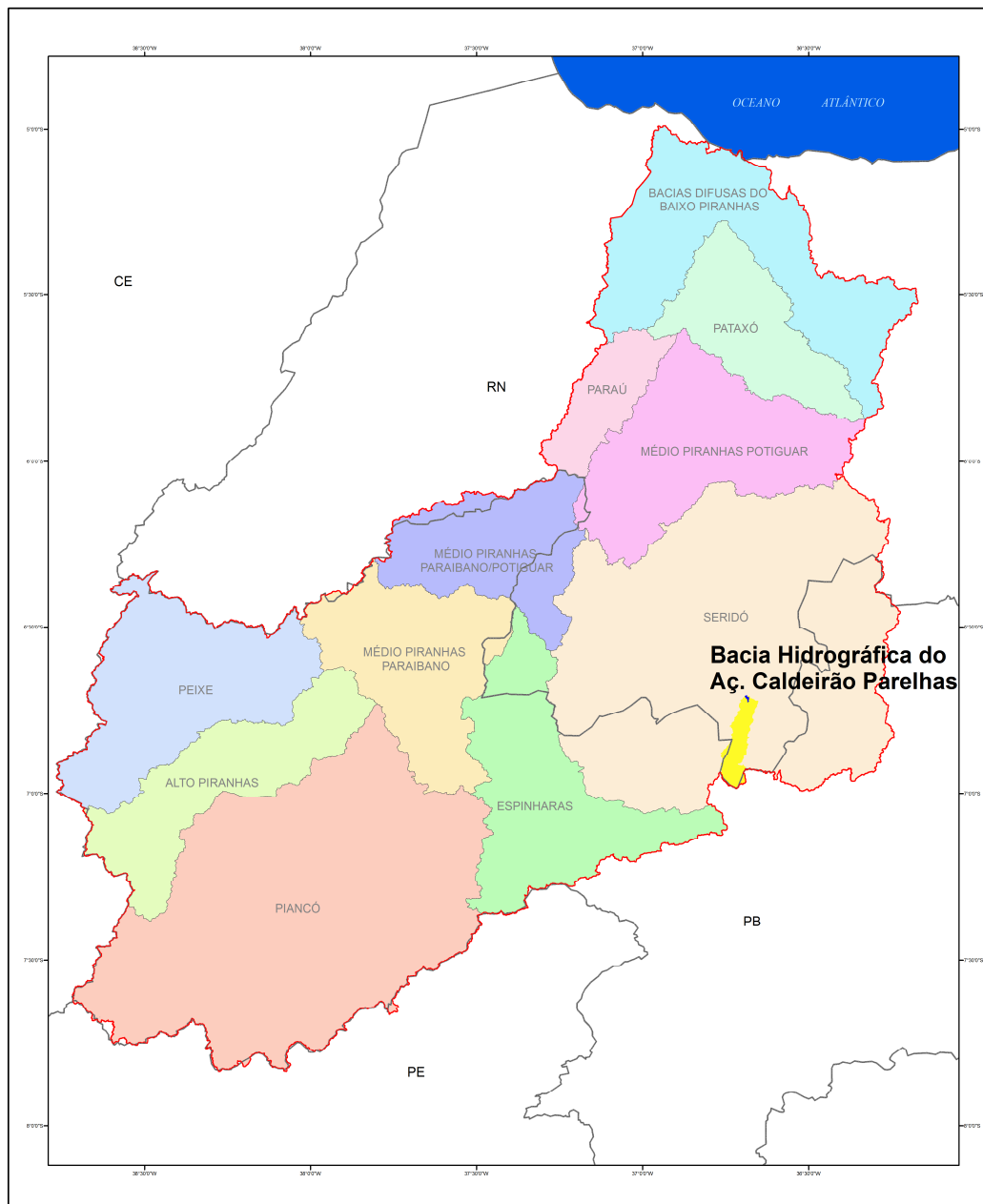


Figura 2.. Localização do açude Caldeirão de Parelhas, em Parelhas-RN.

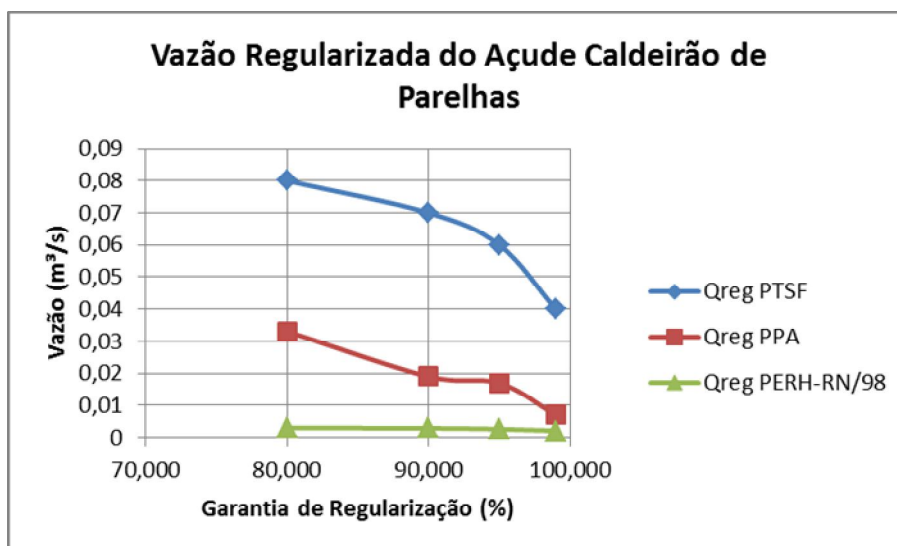


Figura 2.. Curvas de regularização de vazões do açude Caldeirão de Parelhas.

Tabela 2.. Vazões Regularizadas do Açude Caldeirão de Parelhas

Características Gerais			
Capacidade de Acumulação (m³)	9.320.657		
Bacia Hidrográfica (km²)	195,10		
Bacia Hidráulica (ha)	228,42		
Vazões Regularizadas	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Vazão Regularizada 90% Garantia (m³/s)	0,019	0,070	0,0029
Vazão Regularizada 95% Garantia (m³/s)	0,017	0,060	0,0026
Vazão Regularizada 99% Garantia (m³/s)	0,007	0,050	0,0021
Rendimento Hidrológico	Plano Piranhas-Açu	Projeto de Integração do São Francisco	Plano Estadual de Recursos Hídricos RN 1998
Precipitação Média na Bacia (mm)	540,81	473,7	Sem dado
Deflúvio Médio (mm)	27,02	37,4	Sem dado
Coefficiente de Escoamento (%)	5,00	7,9	Sem dado

2.3.5. Conclusões sobre o Estudo de Vazões Regularizadas

As conclusões do presente estudo de vazões regularizadas podem ser separadas em duas dimensões: a primeira, deve ser relativa a uma crítica do processo de modelagem em si, das vazões regularizadas pelos reservatórios estratégicos. A segunda, deve se referir aos resultados obtidos em termos de águas superficiais disponíveis para a bacia do Piranhas-Açu.

2.3.5.1. Conclusões sobre o Processo de Modelagem das Vazões Regularizadas

A maioria dos reservatórios estratégicos da bacia do Piranhas-Açu foi objeto de estudo de vazões regularizadas em pelo menos dois estudos anteriores: o Projeto de Integração das Águas do Rio São Francisco (PISF) e os Planos Estaduais de Recursos Hídricos (PERH's) dos dois estados, Paraíba e Rio Grande do Norte.

O processo de modelagem em todos os estudos realizados envolveu duas etapas: extensão das séries históricas afluentes aos açudes por um modelo chuva-vazão e, em seguida, a operação isolada ou integrada do reservatório de interesse, por meio de algum algoritmo de balanço hídrico ao nível de reservatório.

Para extensão das séries históricas de vazões afluentes aos açudes foram empregados em cada estudo um modelo chuva-vazão distinto: MODHAC (PISF), SSARR e SMAP-M (PPA).

Para operação dos reservatórios foram empregados outros quatro modelos de simulação: CADILAC, OPERA (PISF), DIPRO e SIMRES (PPA).

A multiplicidade de modelos naturalmente deveria conduzir a diferentes valores para as vazões regularizadas. Além da multiplicidade de modelos, havia diferenças nas séries históricas empregadas nas análises, algumas com mais de 10 anos de defasagem temporal em relação aos dados empregados nas simulações do atual Plano do Piranhas-Açu (PPA).

Também há casos de emprego de diferentes curvas cota x área x volume, uma vez que ambos estados, Paraíba e Rio Grande do Norte, atualizaram a batimetria de alguns reservatórios nos últimos anos em relação aos primeiros estudos. A sequência temporal dos estudos foi: Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte (1998); Projeto de Integração das Águas do Rio São Francisco (2000); Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (2005); Plano da Bacia do Piranhas-Açu (2013).

Não obstante tantas diferenças metodológicas, conceituais e entre os dados primários empregados nas análises, o que se observou foi a formação de envoltórias de curvas de vazões regularizadas pelos diferentes estudos até bastante próximas entre si.

Em hidrologia, a natureza eminentemente estocástica da ocorrência das chuvas e a complexidade dos fenômenos físicos na geração do escoamento superficial, tornam inevitável o emprego de modelos matemáticos para simulação dos eventos de interesse, que são representações idealizadas da realidade e, portanto, os modelos hidrológicos são afetados do caráter intrínseco da imperfeição.

Não existe, portanto, o modelo “mais correto” e o modelo “mais errado” em hidrologia de reservatórios, pois os algoritmos de simulação são desenvolvidos para atender a diferentes conceituações customizadas para atender às premissas do estudo em questão. É o caso, por exemplo, do conceito de volume de alerta empregado no algoritmo de simulação dos reservatórios pelo Projeto de Integração das Águas do Rio São Francisco.

Observando-se os gráficos das curvas de regularização, pode se constatar que não houve um padrão único de resultado obtido por cada tipo de modelagem empregada, exceto para o caso das modelagens efetuadas para o PERH-PB/2005, que apresentou uma tendência de ser a curva inferior das vazões regularizadas. As modelagens para o PISF e o PPA se alternaram

entre ser a curva central das envoltórias ou a curva superior das vazões regularizadas, porém, sem uma tendência nítida e invariável.

Em virtude das implicações técnicas para a gestão das águas da Bacia do Piranhas-Açu, recomenda-se adotar as vazões definidas para o Projeto de Integração do São Francisco, quando estas estiverem disponíveis, como referência para o planejamento das ações do Plano da Bacia do Piranhas-Açu, pelos seguintes motivos:

- As principais intervenções estruturais planejadas e em execução para a bacia do Piranhas-Açu estão parcialmente condicionadas ao Projeto de Integração das Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional, atualmente em implantação pelo Ministério da Integração Nacional, as quais são obras definitivas já licitadas em pleno andamento sob a responsabilidade do Governo Federal;
- Uma vez que as vazões regularizadas definidas no PISF tem repercussão, não somente na Bacia do Piranhas-Açu, mas em todas as bacias dos demais estados do nordeste receptoras do Projeto de Integração do São Francisco, seria inoportuno e contraproducente considerar vazões diferentes daquelas indicadas no PISF para qualquer tipo de planejamento ou ação programada para a bacia, em virtude dos potenciais conflitos resultantes;

2.3.5.2. Conclusões sobre os Resultados Obtidos para as Águas Superficiais na Bacia do Piranhas-Açu

A **Tabela 2.79** apresenta o sumário das vazões regularizadas agrupadas por Unidade de Planejamento. Os reservatórios da bacia do Piranhas-Açu apresentam uma vazão regularizada contínua, ao nível de garantia de 95%, da ordem de 38,62 m³/s, representando um volume anual regularizável de 1.218,01 hm³/ano.

As sub-bacias do Seridó e Piancó apresentam o maior número de açudes segundo as Unidade de Planejamento, 14 açudes ao todo. As bacias com menor disponibilidade hídrica são as do Pataxó e Bacias Difusas do Baixo Piranhas. Entretanto, esta última está situada a jusante do açude Armando Ribeiro Gonçalves, o maior reservatório da bacia e com maior capacidade de regularização. Assim, as bacias difusas do baixo Piranhas apresentam uma falsa ideia de vazão hídrico. A mais deficitária é a do Pataxó.

É necessário realizar estudos do nível de saturação da açudagem nas bacias do Seridó e Piancó, para as quais se sugere a programação de um estudo específico a ser inserido dentre os estudos futuros da fase de Programação do Plano da Bacia do Piranhas-Açu.

Tabela 2.. Sumário das Vazões Regularizadas na Bacia do Piranhas-Açu por Unidade de Planejamento

Localização e Capacidade dos Açudes			Vazões Regularizadas e Garantias			Estudo de Referência Adotado para Vazões Regularizadas	
Unidade de Planejamento (UP)	Açude	Estado	Capacidade Máxima de Acumulação	Q _{100%} ou Q _{99%}	Q _{95%}		Q _{90%}
Unidade			(hm ³)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	
Piancó							
1	Coremas-Mãe d'Água	PB	1358	8,5	9,6	10,53	PISF
2	Saco	PB	97,5	0,68	0,73	0,77	PISF
3	Cachoeira dos Cegos	PB	71,9	0,226	0,34	0,35	PISF
4	Jenipapeiro (Buiú)	PB	70,8	0,638	0,69	0,73	PISF
5	Bruscas	PB	38,2	0,32	0,37	0,4	PISF
6	Condado	PB	35	0,181	0,2	0,255	PPA
7	Santa Inês	PB	26,1	0,115	0,12	0,14	PISF
8	Piranhas	PB	25,7	0,21	0,24	0,26	PISF
9	Queimadas	PB	15,6	0,068	0,07	0,09	PISF
10	Timbaúba	PB	15,4	0,096	0,1	0,11	PISF
11	Bom Jesus II	PB	14,2	0,055	0,06	0,07	PISF
12	Serra Vermelha I	PB	11,8	0,074	0,082	0,099	PPA
13	Cachoeira dos Alves	PB	10,6	0,08	0,1	0,11	PISF
14	Canoas	PB	45,5	0,4	0,43	0,46	PISF
15	Poço Redondo	PB	62,7	0,224	0,29	0,34	PISF
16	Vazante	PB	9	0,115	0,13	0,15	PISF
17	Catolé I	PB	10,5	0,106	0,11	0,12	PISF
TOTAL SUB-BACIA PIANCÓ			1918,5	12,088	13,662	14,984	
Alto Piranhas							
1	Engº Ávidos	PB	255	1,6	1,76	1,96	PISF
2	São Gonçalo	PB	44,6	0,4300	0,5000	0,5200	PISF
3	Bartolomeu I	pB	17,6	0,02	0,03	0,04	PISF
TOTAL SUB-BACIA ALTO PIRANHAS			317,2	2,05	2,29	2,52	
Peixe							
1	Lagoa do Arroz	PB	80,2	0,46	0,51	0,56	PISF
2	Pilões	PB	13	0,024	0,03	0,032	PISF
TOTAL SUB-BACIA PEIXE			93,2	0,484	0,54	0,592	

Localização e Capacidade dos Açudes				Vazões Regularizadas e Garantias			Estudo de Referência Adotado para Vazões Regularizadas
Unidade de Planejamento (UP)	Açude	Estado	Capacidade Máxima de Acumulação	Q _{100%} ou Q _{99%}	Q _{95%}	Q _{90%}	
Unidade			(hm ³)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	
Espinharas							
1	Capoeira	PB	53,5	0,278	0,384	0,438	PPA
2	Farinha	PB	25,7	0,084	0,147	0,159	PPA
3	Jatobá I	PB	17,5	0,031	0,035	0,044	PPA
TOTAL SUB-BACIA ESPINHARAS			96,7	0,393	0,566	0,641	
Seridó							
1	Várzea Grande	PB	21,5	0,0386	0,0675	0,0740	PPA
2	São Mamede	PB	15,8	0,0197	0,0330	0,0450	PPA
3	Santa Luzia	PB	12	0,0780	0,1420	0,1660	PPA
4	Boqueirão de Parelhas	RN	85	0,25	0,3	0,38	PISF
5	Itans	RN	81,8	0,22	0,35	0,51	PISF
6	Sabugi	RN	65,3	0,22	0,33	0,46	PISF
7	Passagem das Traíras	RN	48,9	0,486	0,667	0,688	PPA
8	Marechal Dutra	RN	40	0,13	0,19	0,26	PISF
9	Cruzeta	RN	35	0,1	0,17	0,25	PISF
10	Carnaúba	RN	25,7	0,042	0,064	0,109	PPA
11	Esguincho	RN	21,6	0,096	0,101	0,173	PPA
12	Dourado	RN	10,3	0	0,03	0,05	PISF
13	Caldeirão de Parelhas	RN	10	0,05	0,06	0,07	PISF
TOTAL SUB-BACIA SERIDÓ			472,9	1,7303	2,5045	3,235	
Médio Piranhas Paraíba							
1	Carneiro	PB	31,3	0,17	0,18	0,2	PISF
2	Engº Arcoverde	PB	30,6	0,06	0,13	0,15	PISF
3	Riacho dos Cavalos	PB	17,7	0	0	0,02	PISF
TOTAL SUB-BACIA MÉDIO PIRANHAS PARAIBANO			79,6	0,23	0,31	0,37	
Médio Piranhas Paraíba/Potiguar							
1	Baião	PB	39,2	0,169	0,182	0,298	PPA
2	Tapera	PB	26,4	0,027	0,07	0,11	PISF
3	Santa Rosa	PB	16,5	0,000	0,01	0,02	PISF

Localização e Capacidade dos Açudes				Vazões Regularizadas e Garantias			Estudo de Referência Adotado para Vazões Regularizadas
Unidade de Planejamento (UP)	Açude	Estado	Capacidade Máxima de Acumulação	Q _{100%} ou Q _{99%}	Q _{95%}	Q _{90%}	
Unidade			(hm ³)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	
4	Escondido	PB	16,3	0,06	0,12	0,15	PISF
TOTAL SUB-BACIA MÉDIO PIRANHAS PARAIBANO / POTIGUAR			98,4	0,256	0,382	0,578	
Médio Piranhas Potiguar							
1	Armando Ribeiro Gonçalves	RN	2400	15	17,77	19,24	PISF
2	Rio da Pedra	RN	12,4	0	0,03	0,04	PISF
TOTAL SUB-BACIA MÉDIO PIRANHAS POTIGUAR			2412,4	15	17,8	19,28	
Paraú							
1	Mendubim	RN	76,4	0,25	0,271	0,33	PPA
2	Beldroega	RN	11,4	0	0,016	0,022	PPA
TOTAL SUB-BACIA PARAÚ			87,8	0,25	0,287	0,352	
Pataxó							
1	Pataxós	RN	24,4	0,239	0,269	0,281	PPA
TOTAL SUB-BACIA PATAXÓ			24,4	0,239	0,269	0,281	
Bacias Difusas do Baixo Piranhas							
1	Boqueirão de Angicos	RN	19,8	0,126	0,197	0,207	PPA
TOTAL SUB-BACIA DIFUSAS DO BAIXO PIRANHAS			19,8	0,126	0,197	0,207	
TOTAL GERAL DA BACIA DO PIRANHAS-AÇU			5620,9	32,85	38,81	43,04	

3. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

3. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS

O elevado déficit hídrico e a alta variabilidade temporal e espacial da pluviometria na região semi-árida são fatores determinantes para a total dependência da sua população aos estoques de água armazenados nos reservatórios, notadamente naqueles com maior capacidade de acumulação. Sendo assim, o diagnóstico da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açu deve se basear, primordialmente, na qualidade da água dos grandes açudes públicos presentes na bacia.

Os açudes funcionam como lagos artificiais, já que possuem um longo tempo de residência ou uma baixa renovação da massa de água. O longo tempo de retenção hidráulica (da ordem de meses ou anos), juntamente com o balanço hídrico negativo a maior parte do ano, fazem com que esses ecossistemas funcionem como sistemas acumuladores e concentradores de sais, nutrientes e outras substâncias.

Os açudes são altamente vulneráveis às cargas de poluentes lançadas nesses sistemas e apresentam freqüentemente perda significativa de qualidade de água. O clima, a geologia, os tipos de solos e o regime hidrológico são condicionantes naturais da qualidade das águas armazenadas nos açudes. Entretanto, fatores antrópicos também condicionam a qualidade dessas águas contribuindo para sua degradação, tais como: o uso e ocupação do solo de forma inadequada, esgotos domésticos e industriais, drenagem urbana e agrícola, dentre outros.

Na bacia do Rio Piranhas-Açu a questão da eutrofização das águas dos reservatórios superficiais é muito importante e merece uma atenção especial. Outros problemas ambientais, tais como salinização e contaminação das águas por metais pesados, pesticidas e vetores de doenças de veiculação hídrica, também contribuem para a perda da qualidade da água. Na bacia do Rio Piranhas-Açu, no entanto, os dados disponíveis de monitoramento da qualidade da água na bacia só permitem um diagnóstico dos problemas de eutrofização, salinização e contaminação da água por alguns metais pesados.

3.1. Monitoramento da qualidade da água na bacia

Na bacia do Rio Piranhas-Açu, são monitorados 47 reservatórios com capacidade superior a 10 hm³ e alguns trechos de rios para determinação de alguns parâmetros básicos de qualidade de água. As coletas de água são realizadas através de amostragens pontuais, com freqüência semestral ou anual. Dos 21 parâmetros mínimos recomendados pela ANA, apenas 9 parâmetros são analisados pela SUDEMA/PB desde 2007 e 14 pelo IGARN/RN desde 2008 (**Tabela 3.1**).

O IGARN/RN analisa também em cada ponto amostral da bacia no RN, as concentrações de sete metais pesados (Cobre, Chumbo, Cromo, Cádmio, Zinco, Níquel e Mercúrio).

Tabela 3.. Parâmetros mínimos da Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade das Águas (ANA 2012) que são monitorados nos açudes pela SUDEMA/PB e IGARN/RN.

Parâmetros	SUDEMA/PB	IGARN/RN
Temperatura, Turbidez, pH, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Fósforo Total, Nitrogênio Total, Coliformes Termotolerantes, Sólidos Totais, Salinidade	SIM	SIM
Transparência, Carbono Orgânico Total, Nitrogênio Amoniacal, Clorofila a, Cianobactérias	NÃO	SIM
Condutividade Elétrica, Alcalinidade Total, Cloreto Total, Sólidos em Suspensão, Demanda Química de Oxigênio, Fósforo Solúvel Reativo, Nitrato	NÃO	NÃO

Apesar de se reconhecer o valor dos dados coletados, há que se reconhecer que o monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia pode ser considerado insuficiente. De acordo com os padrões da Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade de Água (ANA 2012), e que será implantada na bacia pela ANA e pelos órgãos gestores estaduais, os programas de monitoramento devem realizar, no mínimo, coletas trimestrais e analisar, ao menos, 21 parâmetros de qualidade de água em cada ponto de monitoramento, sendo que quatro exclusivamente em ambientes lênticos (transparência, clorofila a, fitoplâncton qualitativo e quantitativo). A Rede Nacional ainda prevê que seja feita a medição de vazão no momento da coleta de água para associar os aspectos de quantidade e qualidade da água.

Além disso, a densidade de amostragem da atual rede de monitoramento de qualidade da água na bacia pode ser considerada baixa pois apenas 7 trechos de rios (todos no RN e nenhum na PB) e os açudes públicos com capacidade maior que 10 hm³ são monitorados na bacia. Esta densidade de amostragem é menor do que a recomendada pela Rede Nacional de Qualidade de Água que prevê uma densidade mínima de amostragem de 1 ponto amostral por 1000 Km² além dos açudes (ANA 2012).

3.2. Dados utilizados

O diagnóstico da qualidade das águas dos 47 açudes e dos trechos de rios monitorados foi elaborado com base nos dados de monitoramento realizado pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011. Neste período, foram coletadas e analisadas amostras na PB no período chuvoso de 2007, 2008 e 2009 e no período seco de 2007, 2008, 2009, 2010 e 2011. Por outro lado, no RN foram coletadas e analisadas amostras nos períodos chuvosos de 2008, 2009, 2010 e 2011 e no período seco de 2010. Portanto, cada parâmetro de qualidade de água analisado em cada ponto amostral foi representado por uma média e um desvio padrão nos períodos chuvoso e seco separadamente, com exceção dos dados do RN que possuíram apenas uma única amostragem no período seco e por isso não puderam ser representados por uma média e um desvio. Entretanto, o número de amostras ainda é baixo e insuficiente para testar estatisticamente se existe alguma sazonalidade nos padrões de qualidade da água dos açudes da bacia.

Com base nos dados disponíveis dos parâmetros analisados, foram calculados também dois índices que descrevem de maneira resumida a qualidade da água dos pontos monitorados: o Índice de Qualidade de Água (IQA) e o Índice de Estado Trófico (IET).

3.3. Enquadramento dos corpos d'água

O enquadramento dos corpos d'água é o estabelecimento do nível de qualidade a ser alcançado ou mantido em um corpo d'água ao longo do tempo. O enquadramento busca assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e a diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes (ANA 2012).

O enquadramento dos corpos d'água é um instrumento de planejamento e deve ter como referência não somente a condição atual da qualidade da água, mas a qualidade que o corpo d'água deveria possuir para atender os usos desejados pela sociedade.

No Brasil é adotado o enquadramento por classes, as quais são estabelecidas conforme os usos a que se destinam os corpos d'água (**Tabela 3.2**). Para cada classe existem padrões de qualidade de água que são estabelecidos de modo a permitir os usos mais restritivos entre todos os usos contemplados naquela classe (**Tabela 3.3**). Nos corpos d'água classe 2, por exemplo, as concentrações de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e fósforo total (P total) devem ser, no máximo, 5 mg/L e 0,03 mg/L, respectivamente, de modo a permitir a proteção da vida aquática, a recreação de contato primário e a aquicultura dentre outros usos.

Tabela 3.. Classes de enquadramento conforme os usos das águas doces segundo a Resolução CONAMA 357/2005. *O nível de tratamento da água para consumo humano varia entre as classes. ** Diferentes cultivos podem ser irrigados dependendo da classe.

Usos da água	Classe Especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Preservação do equilíbrio natural	X				
Proteção das comunidades aquáticas	X	X	X		
Recreação de contato primário	X	X	X		
Aquicultura	X	X	X		
Abastecimento para consumo humano*	X	X	X	X	
Recreação de contato secundário	X	X	X	X	
Pesca	X	X	X	X	
Irrigação **	X	X	X	X	
Dessententação de animais	X	X	X	X	
Navegação	X	X	X	X	X
Harmonia paisagística	X	X	X	X	X

Tabela 3.. Padrões de qualidade das águas doces de ambientes lênticos estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para as diferentes classes de enquadramento em função dos parâmetros analisados neste diagnóstico.

Parâmetro (unidade)	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 2
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	≤ 3	≤ 5	≤ 10	-
Fósforo Total (mg/L) – ambientes lênticos	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,05	-
Turbidez (UNT)	≤ 40	≤ 100	≤ 100	-
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	≤ 200	≤ 1000	≤ 2500	-
Cobre Dissolvido (mg/L)	≤ 0,009	≤ 0,009	≤ 0,013	-
Chumbo Total (mg/L)	≤ 0,010	≤ 0,010	≤ 0,033	-
Cádmio Total (mg/L)	≤ 0,001	≤ 0,001	≤ 0,010	-

3.4. Situação da Qualidade da Água na Bacia do Piranhas-Açu

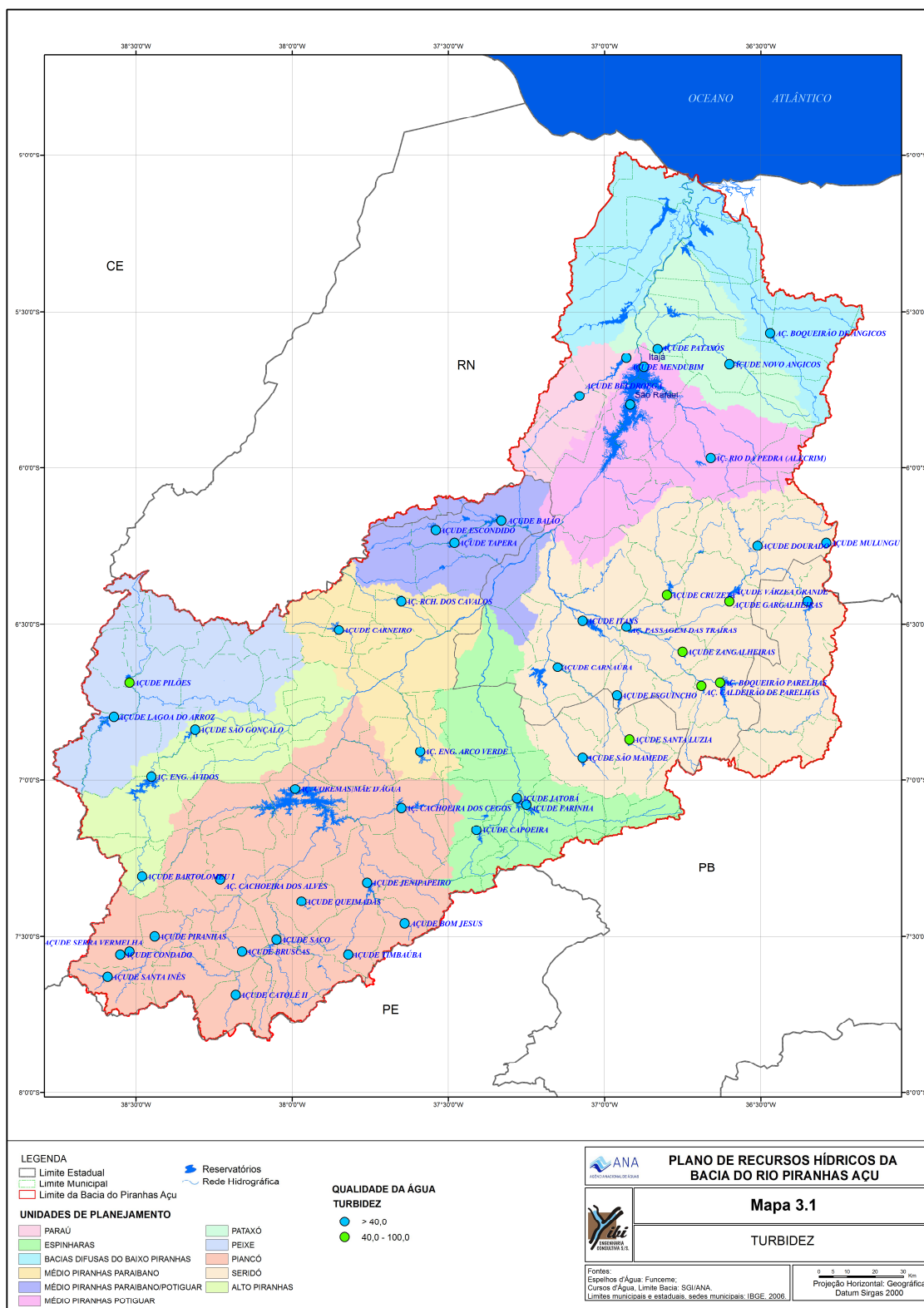
3.4.1.1. Turbidez e pH

Os valores médios de pH e turbidez da água de todos os açudes estiveram dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA no 357/05 para águas doces Classes 1 ou 2. O pH médio variou entre 7,36 (Açude Mulungu) e 8,35 (Açude Várzea Grande), enquanto a turbidez média variou entre 3,51 (Açude Catolé II) e 66,55 (Açude Pilões). Em nenhuma coleta foi observado valor de pH inferior a 6,0 ou superior a 9,0 nos açudes monitorados. Valores de turbidez superiores a 100 UNT foram ocasionalmente observados nos açudes Boqueirão e Caldeirão de Parelhas, Gargalheiras, Pilões, Santa Luzia e Zangalheiras, os quais demonstraram os maiores valores médios de turbidez com os maiores desvios padrão (**Mapa 3.1**) (**Figura 3.1**).

O pH levemente alcalino da água dos açudes deve-se aos níveis elevados de produção primária das algas e cianobactérias planctônicas que no processo de fotossíntese removem carbono inorgânico dissolvido da água elevando o pH da água. Os valores de turbidez da água dependem por sua vez mais das concentrações de partículas inorgânicas em suspensão na água do que das concentrações de material orgânico particulado ou dissolvido. No curto período chuvoso, os sedimentos carregados da bacia para os açudes pelo escoamento superficial aumentam a concentração de material inorgânico em suspensão, elevando a turbidez da água e tornando-a visivelmente “barrenta”. Por outro lado, no longo período de estiagem, a turbidez da água tende a variar em função da profundidade do corpo d’água e da intensidade dos ventos, os quais ressuspendem os sedimentos depositados no fundo mais facilmente quanto menor for a profundidade do açude.

Em geral, os valores de turbidez tenderam a serem maiores na UP do rio Seridó, a qual apresenta elevados níveis de desmatamento e degradação do solo e um dos núcleos de desertificação do semi-árido brasileiro. Os valores de turbidez também tenderam a serem maiores no período chuvoso do que no período seco na maioria dos açudes monitorados (**Figura 3.1**). Entretanto, um teste t aplicado aos dados de turbidez dos açudes da PB revelou valores significativamente maiores no período chuvoso do que no período seco apenas nos açudes Cachoeira dos Alves e São Gonçalo.

Mapa 3.. Turbidez



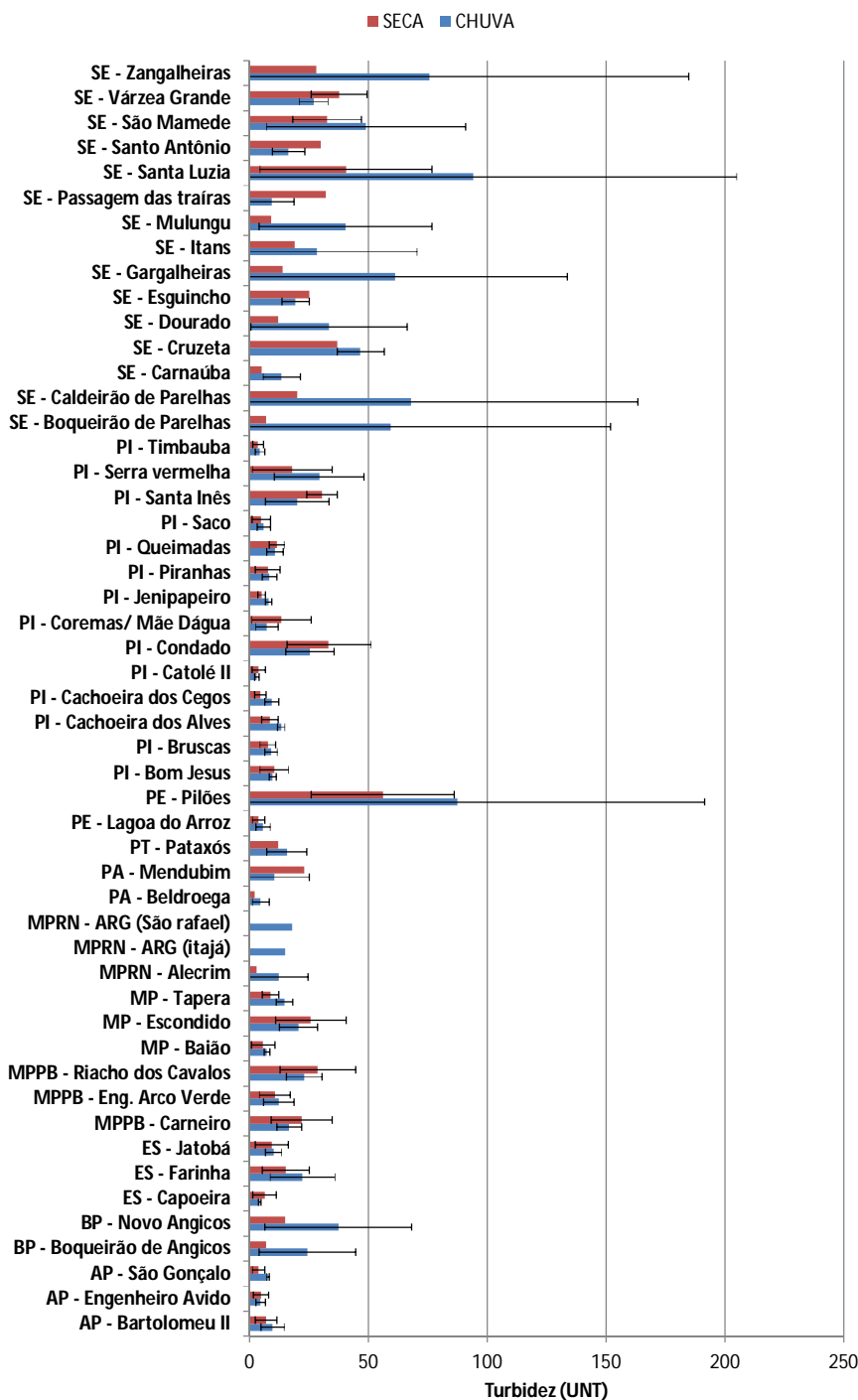


Figura 3.. Valores médios (± 1 desvio padrão) de turbidez na água dos açudes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Paraíba (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraibano (MPPB), Médio Piranhas Paraibano-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).

3.4.1.2. Oxigênio Dissolvido

As concentrações médias de oxigênio dissolvido estiveram dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005 para águas doces Classe 1 ou 2, em quase todos os açudes. A única exceção foi o açude Pilões com concentração média de oxigênio dissolvido igual a 4,72 mg/L (**Figuras 3.2 e Mapa 3.2**).

Entretanto, concentrações inferiores a 4 mg/L foram ocasionalmente observadas em pelo menos uma coleta nos açudes Tapera, São Gonçalo, Santa Inês, Saco, Pilões, Passagem das Traíras, Mulungu, Lagoa do Arroz, Jatobá, Escondido, Engenheiro Ávido, Coremas Mãe d'água, Carneiro, Carnaúba, Cachoeira dos Cegos, Caldeirão de Parelhas, Bruscas, Boqueirão de Parelhas e Bartolomeu.

Não foi observado um padrão bem definido de variação sazonal nas concentrações de oxigênio dissolvido, mas em pouco mais da metade dos açudes as concentrações tenderam a serem maiores no período seco do que no período chuvoso (**Figuras 3.2**). Entretanto, um teste t aplicado aos dados de OD dos açudes da PB revelou concentrações significativamente maiores no período seco do que no chuvoso apenas nos açudes Capoeira, Carneiro, Farinha e São Mamede.

Concentrações de oxigênio acima do limite de 100% de saturação, observadas em alguns açudes, são causadas pela elevada atividade fotossintética característica de ambientes eutrofizados. As concentrações tendem a serem maiores no período seco, pois neste período a produção primária nos açudes tende a ser maior em função da menor turbidez e profundidade que, conseqüentemente, proporcionam uma maior disponibilidade de luz para a atividade fotossintética.

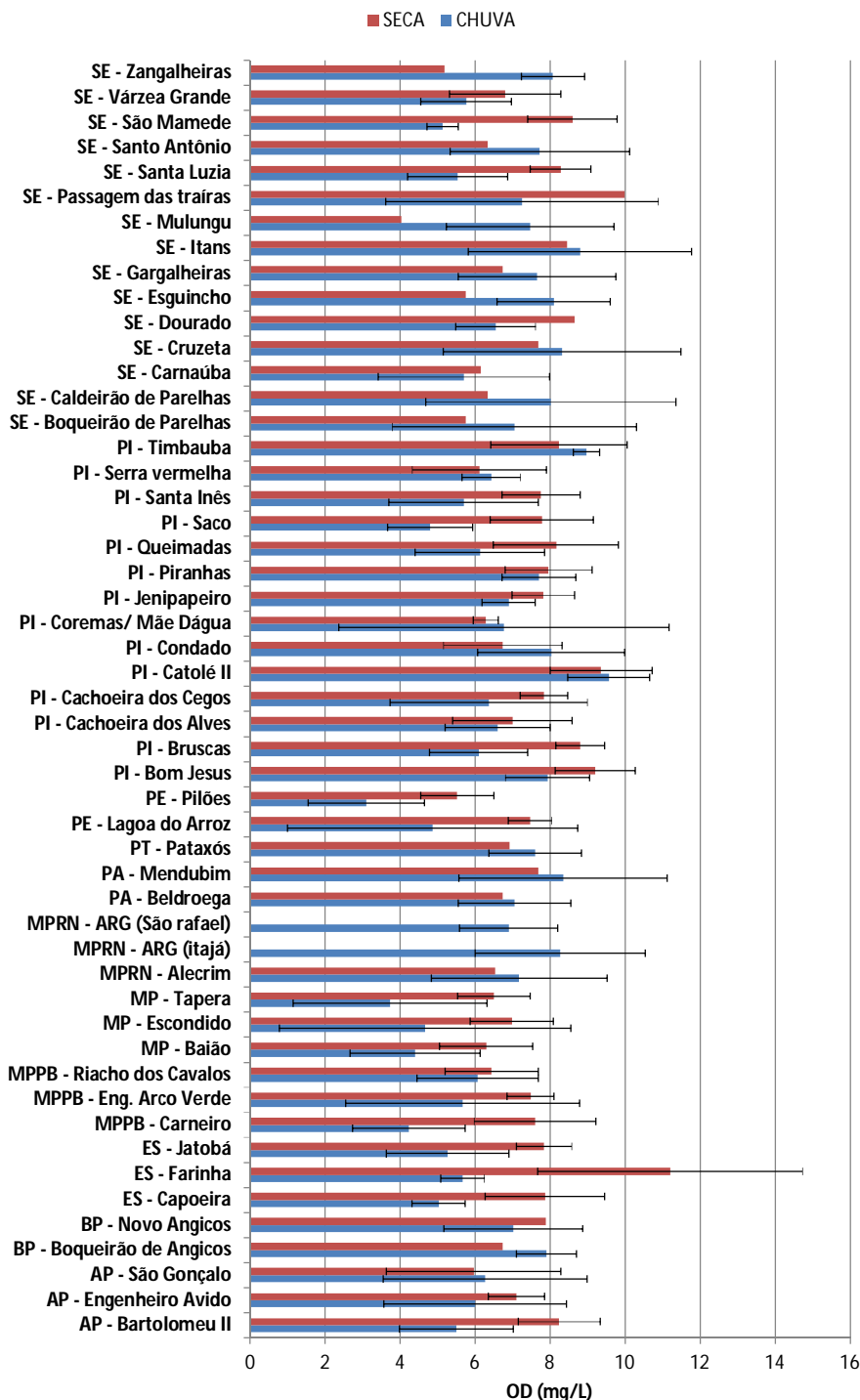
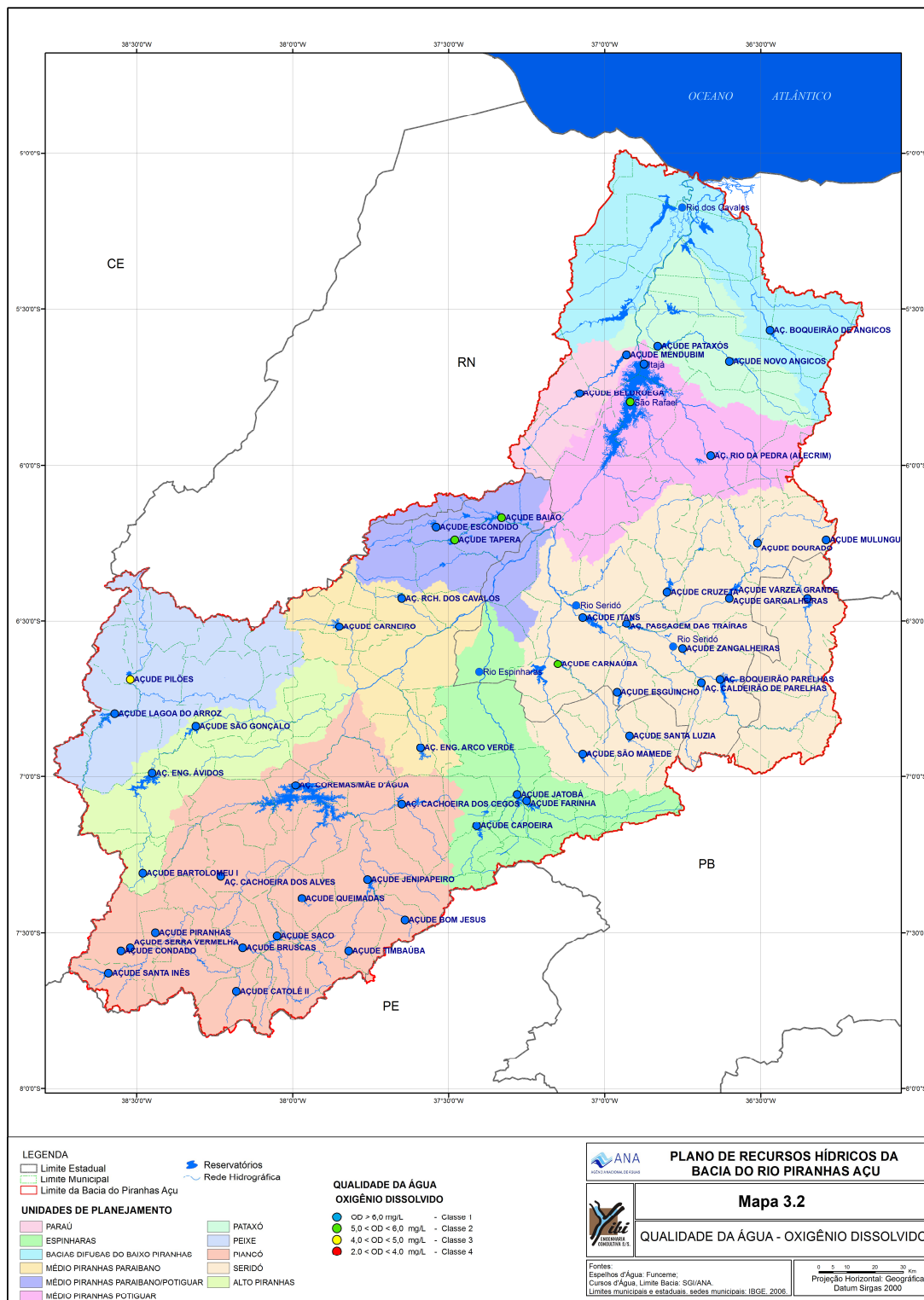


Figura 3.. Concentrações médias (± 1 desvio padrão) de Oxigênio Dissolvido (mg/L) na água dos açudes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Pará (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraibano (MPPB), Médio Piranhas Paraibano-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).

Mapa 3.. Concentrações médias de Oxigênio Dissolvido (mg/L) na água dos açudes e rios monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.



3.4.1.3. Demanda Bioquímica de Oxigênio

Os valores médios de $DBO_{5,20}$ estiveram acima do limite estabelecido pela Resolução Conama 357/2005 para águas de classe 2 (5 mg/L) em 14 pontos (30%) e para águas de classe 3 (10 mg/L) em 5 (11%) desses pontos (**Figura 3.3** e **Mapa 3.3**), localizados no RN nas UPs do Seridó, Pataxós, Paraú e Baixo Piranhas (Figura 51). Entretanto, nos açudes paraibanos Cachoeira dos Alves, Carneiro, Catolé II, Condado e Serra Vermelha, que apresentaram valores médios de DBO abaixo de 5 mg/L, foram observadas concentrações superiores a este limite em pelo menos uma coleta. Os valores mais elevados de DBO na água dos açudes potiguares sugerem que a carga de matéria orgânica lançada nesses açudes deve ser mais elevada do que a carga lançada nos açudes paraibanos ou que esse parâmetro é analisado pela SUDEMA e IGARN com metodologias diferentes que geram resultados inconsistentes. Para testar essa última hipótese, um exercício de calibração de métodos entre as duas agências se faz necessário.

Não foi observado um padrão bem definido de variação sazonal na demanda bioquímica de oxigênio, mas em pouco mais da metade dos açudes as concentrações tenderam a serem maiores no período chuvoso do que no período seco (**Figuras 3.3**). Um teste t aplicado aos dados de DBO dos açudes da PB revelou diferenças significativas entre os dois períodos nos açudes Engenheiro Arcoverde, Carneiro e Timbauba, mas apenas no primeiro açude as concentrações de DBO no período chuvoso foram superiores as do período seco.

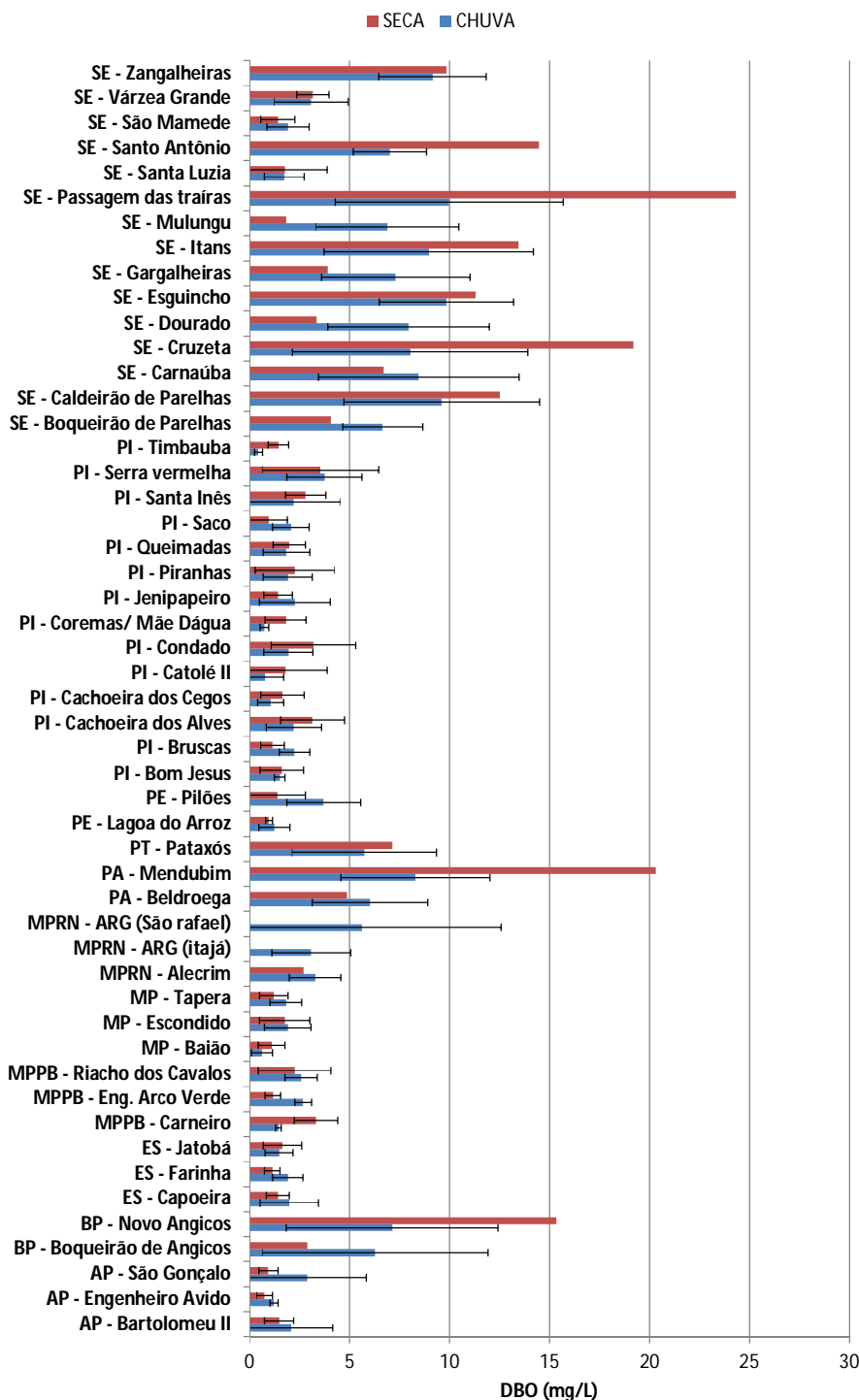
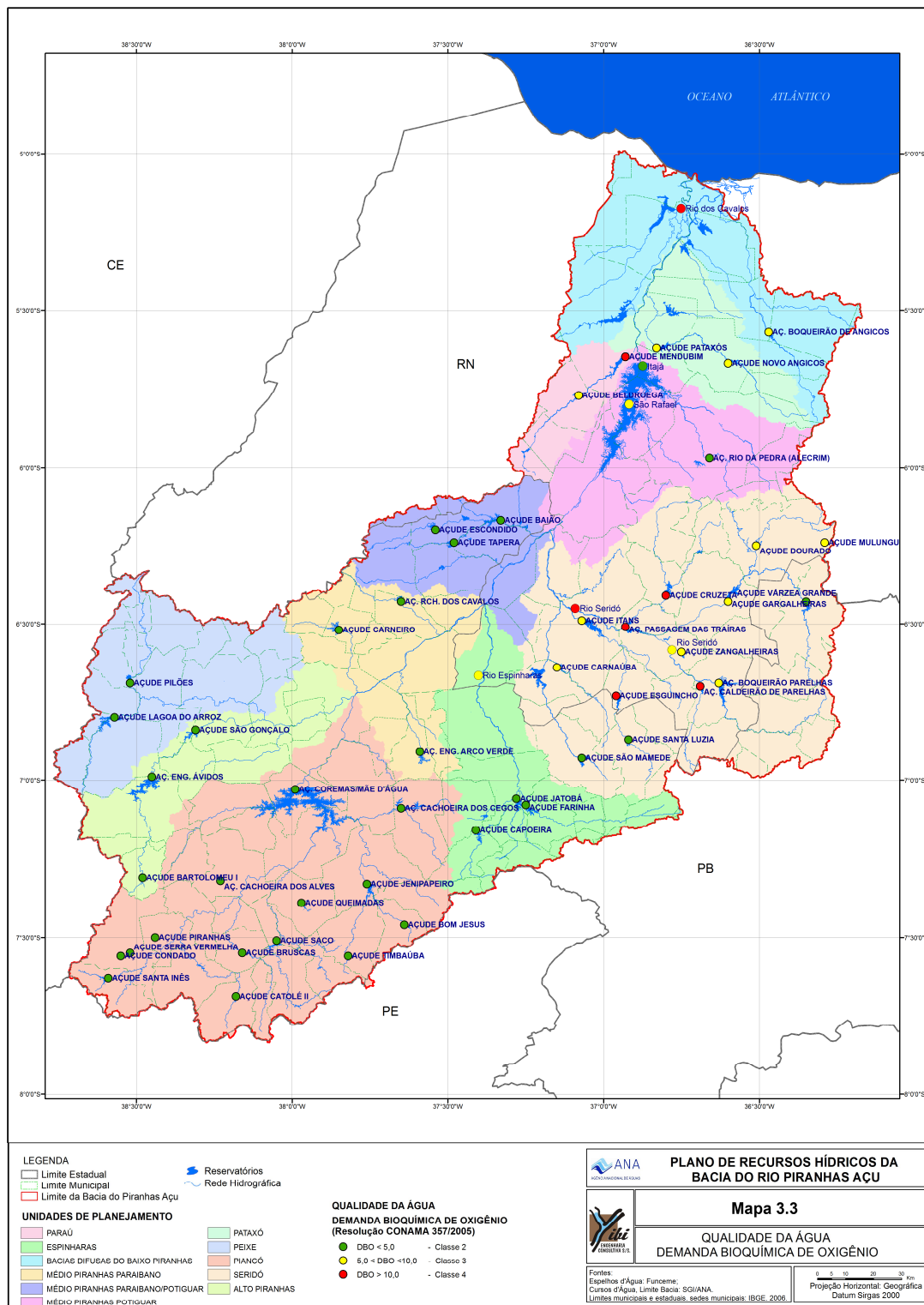


Figura 3.. Concentrações médias (± 1 desvio padrão) de DBO (mg/L) na água dos açudes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Paraú (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraibano (MPPB), Médio Piranhas Paraibano-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).

Mapa 3.. Valores médios de DBO_{5,20} (mg/L) na água dos açudes e rios monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.



3.4.1.4. Coliformes termotolerantes

As concentrações médias de coliformes termotolerantes estiveram dentro dos limites estabelecidos pela mesma resolução para águas doces Classe 1 ou 2 em quase todos os açudes. As únicas exceções foram os açudes Engenheiro Avidos e Riacho dos Cavalos com concentrações médias de coliformes iguais a 1265 e 1328 UFC/mL respectivamente (**Figura 3.4** e **Mapa 3.4**). Entretanto, os açudes São Mamede, Santa Luzia, Jatobá e Carneiro também apresentaram concentrações de coliformes superiores à 1000 UFC/mL em pelo menos uma coleta (**Figura 3.4**). Tais elevadas concentrações de coliformes foram observadas nesses seis açudes sempre no período chuvoso (**Figura 3.4**). Os baixos valores de coliformes observados na maioria dos açudes, a despeito dos baixos níveis de saneamento básico na bacia, sugerem que os esgotos domésticos não são lançados diretamente nos açudes. A poluição dos açudes por esgotos domésticos deve ser difusa e concentrada no período chuvoso, quando há escoamento dos rios temporários e carreamento dos poluentes para os açudes.

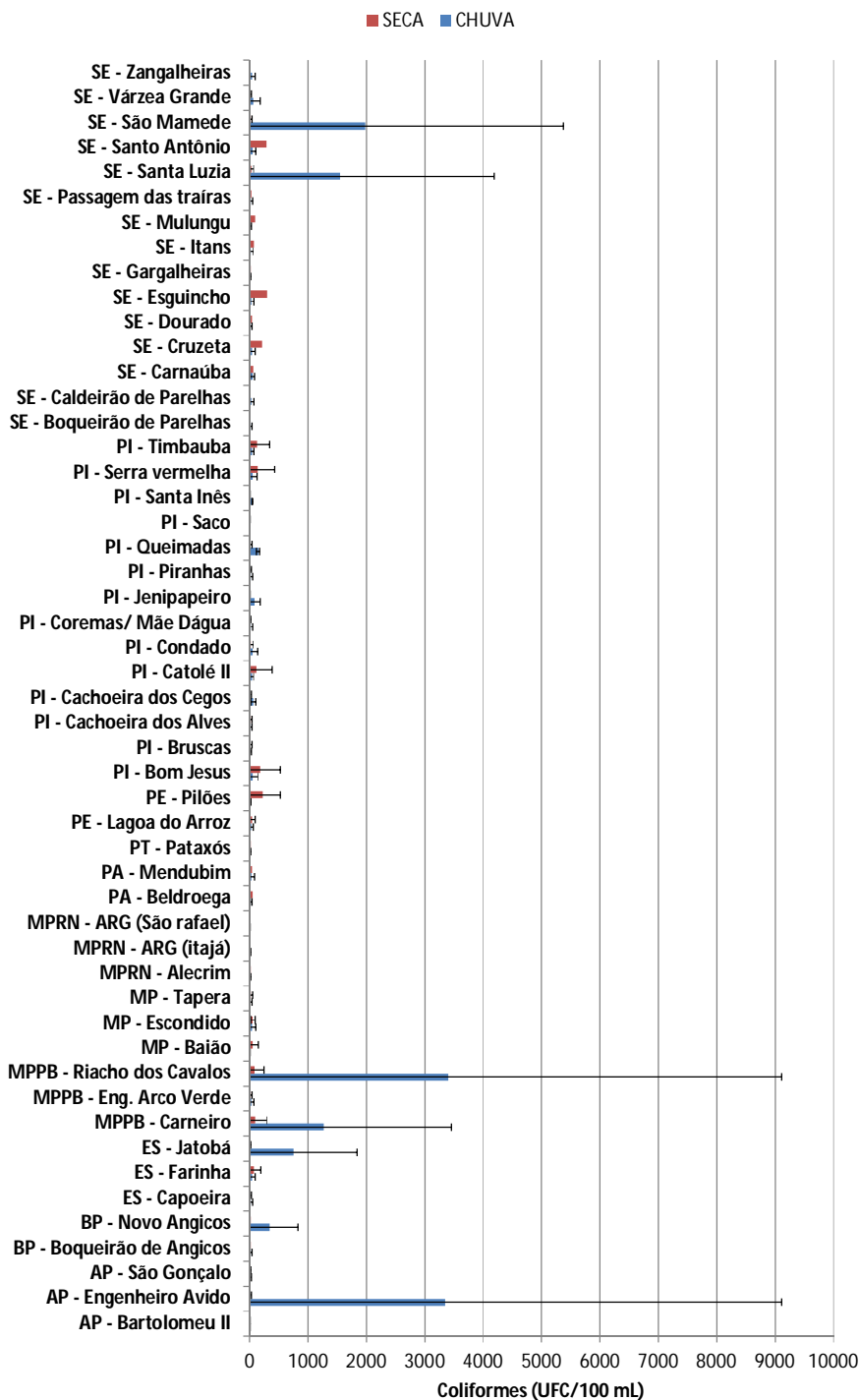
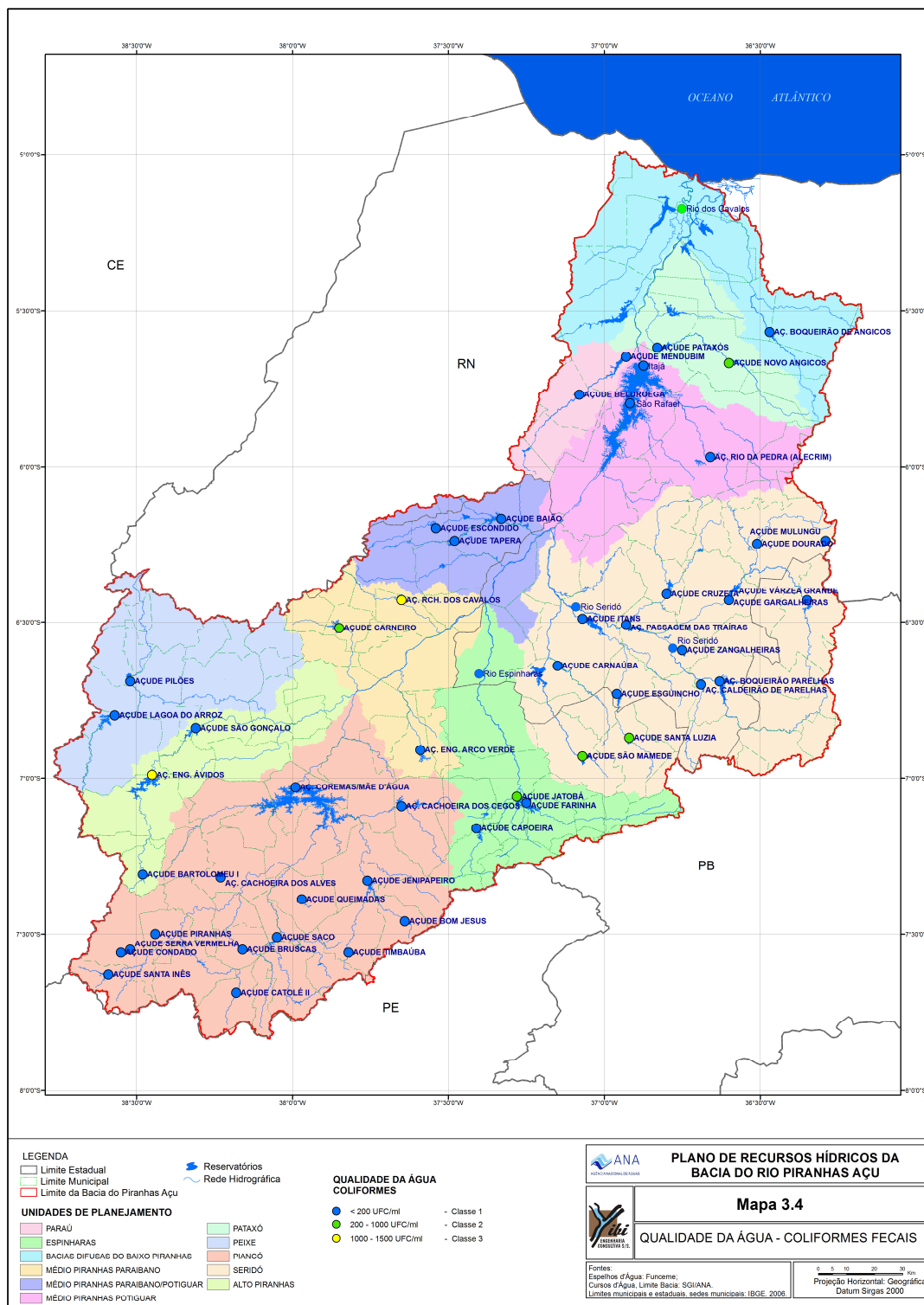


Figura 3.. Concentrações médias (± 1 desvio padrão) de Coliformes Termotolerantes (UFC/ 100mL) na água dos açudes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Paraú (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraibano (MPPB), Médio Piranhas Paraibano-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).

Mapa 3.. Concentrações médias de Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL) na água dos açudes e rios monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.



3.4.1.5. Fósforo Total

As concentrações de fósforo total estiveram acima do limite estabelecido pela resolução Conama 357/2005 para águas doces de Classe 2 (0,03 mg/L) em 42 dos 47 açudes monitorados (89%). Em 38 desses 47 açudes (80%), os valores de fósforo total estiveram até mesmo acima do limite de 0,05 mg/L, estabelecido pela resolução para águas doces de Classe 3 (**Figuras 3.5 e Mapa 3.5**).

Concentrações de fósforo total acima de 0,05 mg/L são consideradas críticas para deflagrar o processo de eutrofização artificial em reservatórios de regiões semiáridas (Thornton & Rast 1993). Sendo assim, a maioria dos açudes da bacia encontra-se bastante enriquecida por fósforo e em condições extremamente propícias para desenvolver o problema da eutrofização. Convém salientar que em 12 açudes as concentrações médias de Fósforo total foram superiores a 0,50 mg/L, ou uma ordem de grandeza acima do limite de 0,05 mg/L, estabelecido pela resolução para águas doces de Classe 3 (**Figura 3.5**).

As concentrações de fósforo total tenderam a serem maiores no período seco do que no período chuvoso em mais da metade dos açudes monitorados, mas a variação sazonal observada nas concentrações de fósforo não seguiu um padrão bem definido (**Figura 3.5**). Um teste t aplicado aos dados de fósforo total dos açudes da PB não revelou diferenças significativas nas concentrações deste nutriente entre o período seco e chuvoso.

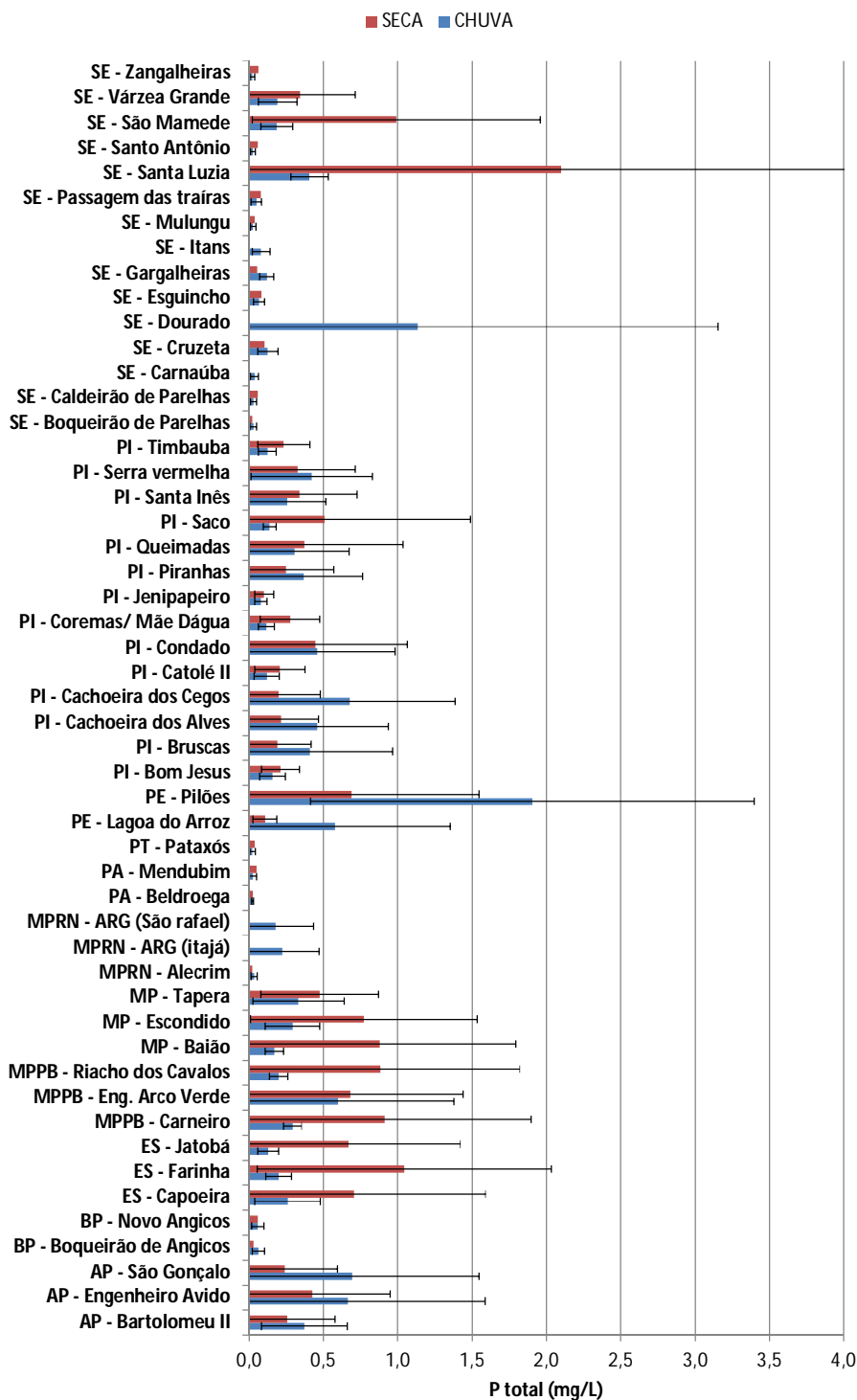
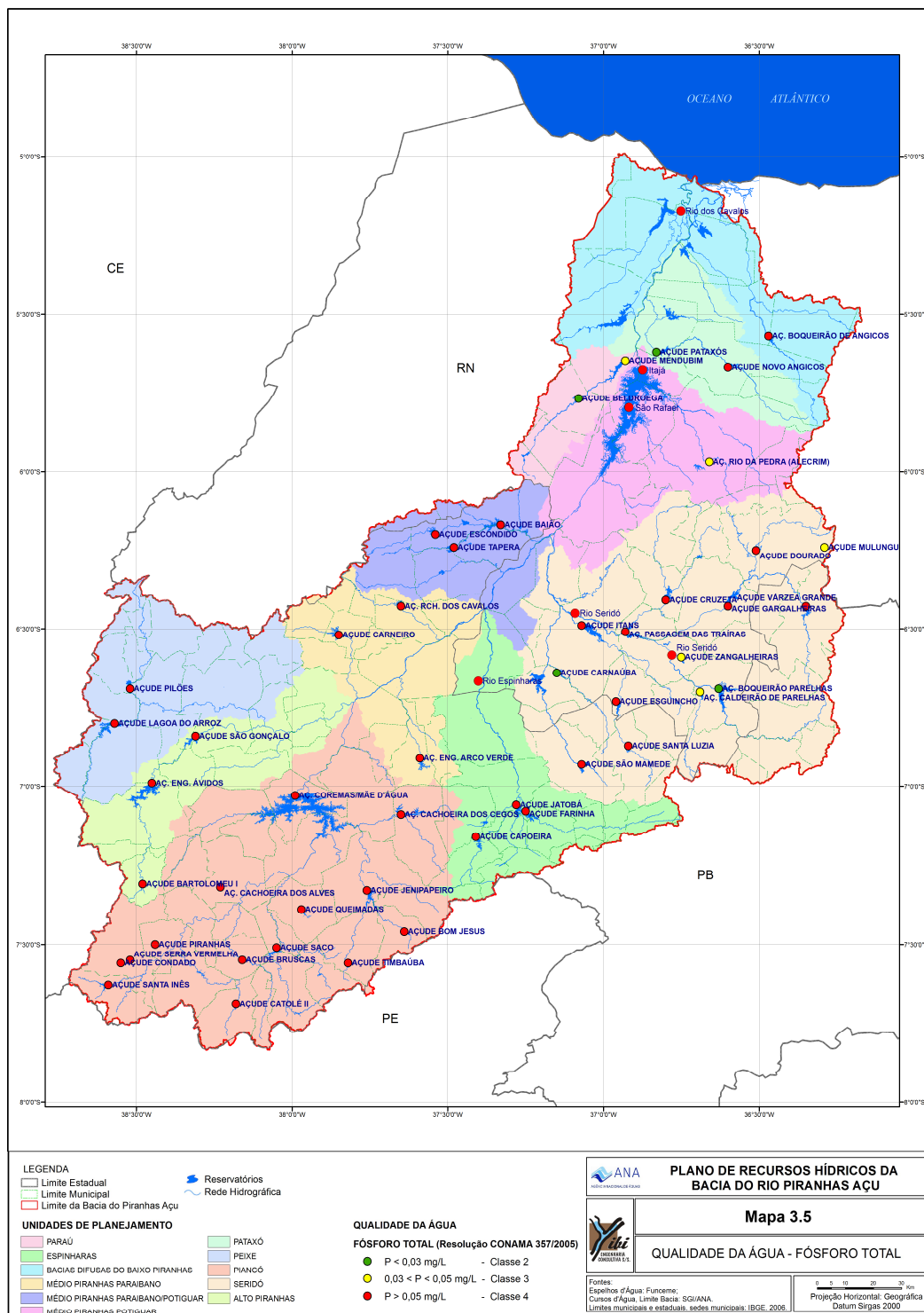


Figura 3.. Concentrações médias (± 1 desvio padrão) de Fósforo Total (mg/L) na água dos açúdes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Paraú (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraibano (MPPB), Médio Piranhas Paraibano-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).

Mapa 3.. Valores médios de P total (mg/L) na água dos açudes e rios monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.



3.4.2. Índice de Qualidade de Água – IQA

O IQA foi calculado de acordo com ANA (2005), com base nos parâmetros turbidez, pH, oxigênio dissolvido, DBO, coliformes totais, resíduos totais, nitrogênio total e fósforo total.

Para cada parâmetro foram traçadas curvas médias de variação da qualidade das águas em função de sua concentração ou medida e atribuído um peso, de acordo com a sua importância no cálculo do IQA, o qual reflete especialmente a poluição da água por esgotos domésticos e por outras cargas orgânicas e que é calculado pela fórmula que se segue:

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i}$$

onde:

q_i = qualidade do parâmetro i obtido através da curva média específica de qualidade;
 w_i = peso atribuído ao parâmetro.

Os valores do IQA variam de 0 a 100. A qualidade da água é classificada, segundo ANA (2012), em função dos valores de IQA, em Ótima ($79 < IQA \leq 100$), Boa ($51 < IQA \leq 79$), Regular ($36 < IQA \leq 51$), Ruim ($19 < IQA \leq 36$) e Péssima ($IQA \leq 19$).

Embora este índice possua a vantagem de facilitar a comunicação com o público leigo e integrar informações de nove parâmetros em um único número, ele possui a desvantagem de perder informações relevantes sobre os parâmetros individuais e as interações entre eles (CETESB 2003).

Além disso, estes nove parâmetros não refletem a contaminação das águas por metais pesados, resíduos de agrotóxicos, outras substâncias tóxicas e parasitas patogênicos (CETESB 2003). Portanto, o IQA não deve ser interpretado pelo público como um indicador completo da qualidade das águas. Outra limitação do IQA é que este índice considera apenas o uso da água para abastecimento e ignora padrões de qualidade de água para outros fins (CETESB 2003). Além disso, mesmo considerando o uso para abastecimento público, o IQA não analisa outros parâmetros importantes para esse uso.

Na bacia do Piranhas-Açu, os valores médios de IQA observados mostram que 88% dos açudes amostrados possuem água com uma qualidade considerada boa e 12 % dos açudes possuem água com uma qualidade considerada excelente (**Figuras 3.6 e Mapa 3.6**).

Entretanto, os açudes paraibanos Capoeira, Carneiro, Catolé II, Condado, Escondido, Farinha, Pilões, Riacho dos Cavalos, Santa Luiza e Várzea Grande apresentaram valores de IQA inferiores a 51 em pelo menos uma coleta. Portanto, a qualidade da água desses açudes foi considerada razoável, em algumas ocasiões.

Um teste t aplicado aos dados de IQA dos açudes da PB não demonstrou diferenças significativas nos valores de IQA entre os períodos seco e chuvoso, com exceção do açude Farinha que apresentou maiores valores de IQA no período chuvoso.

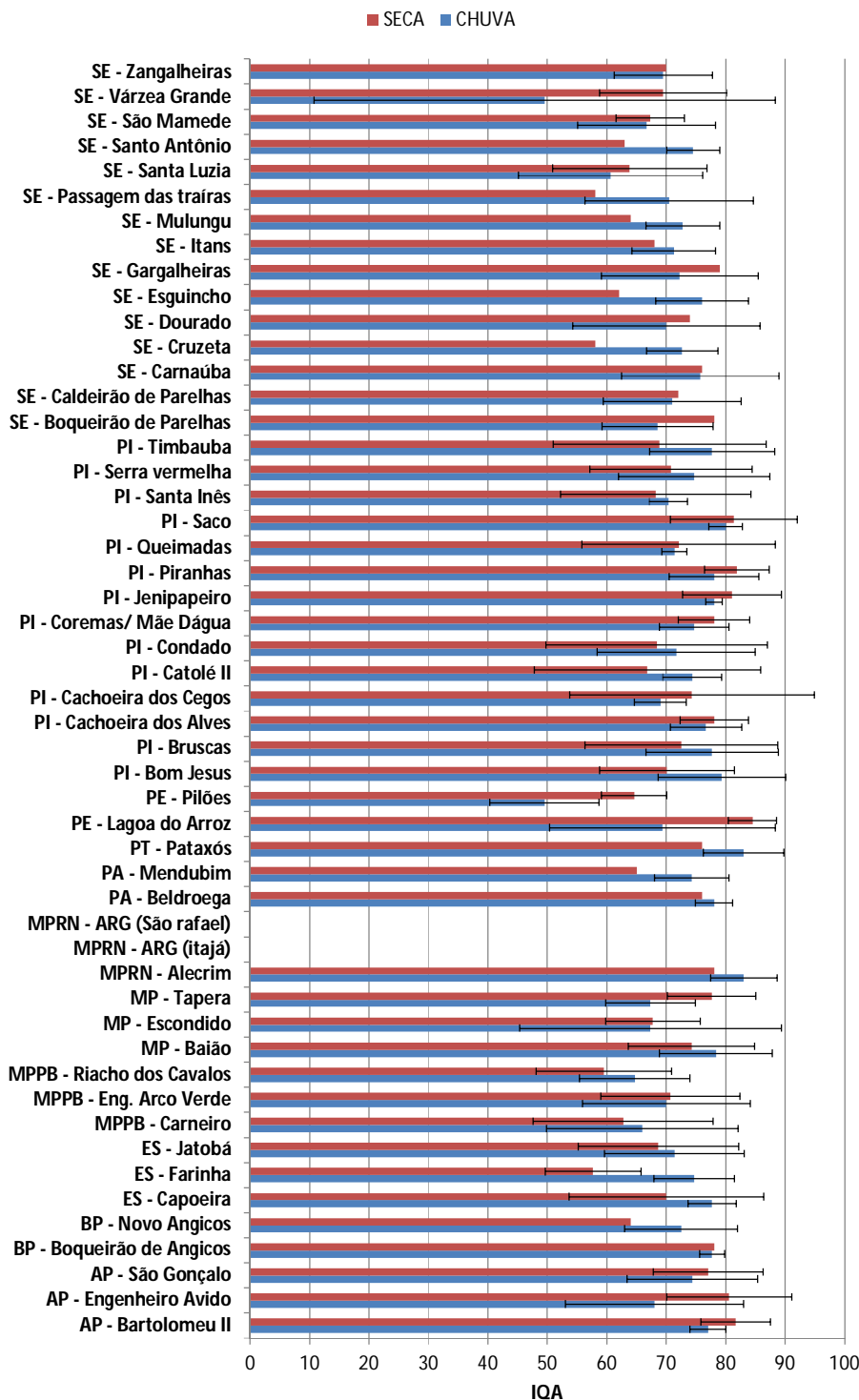
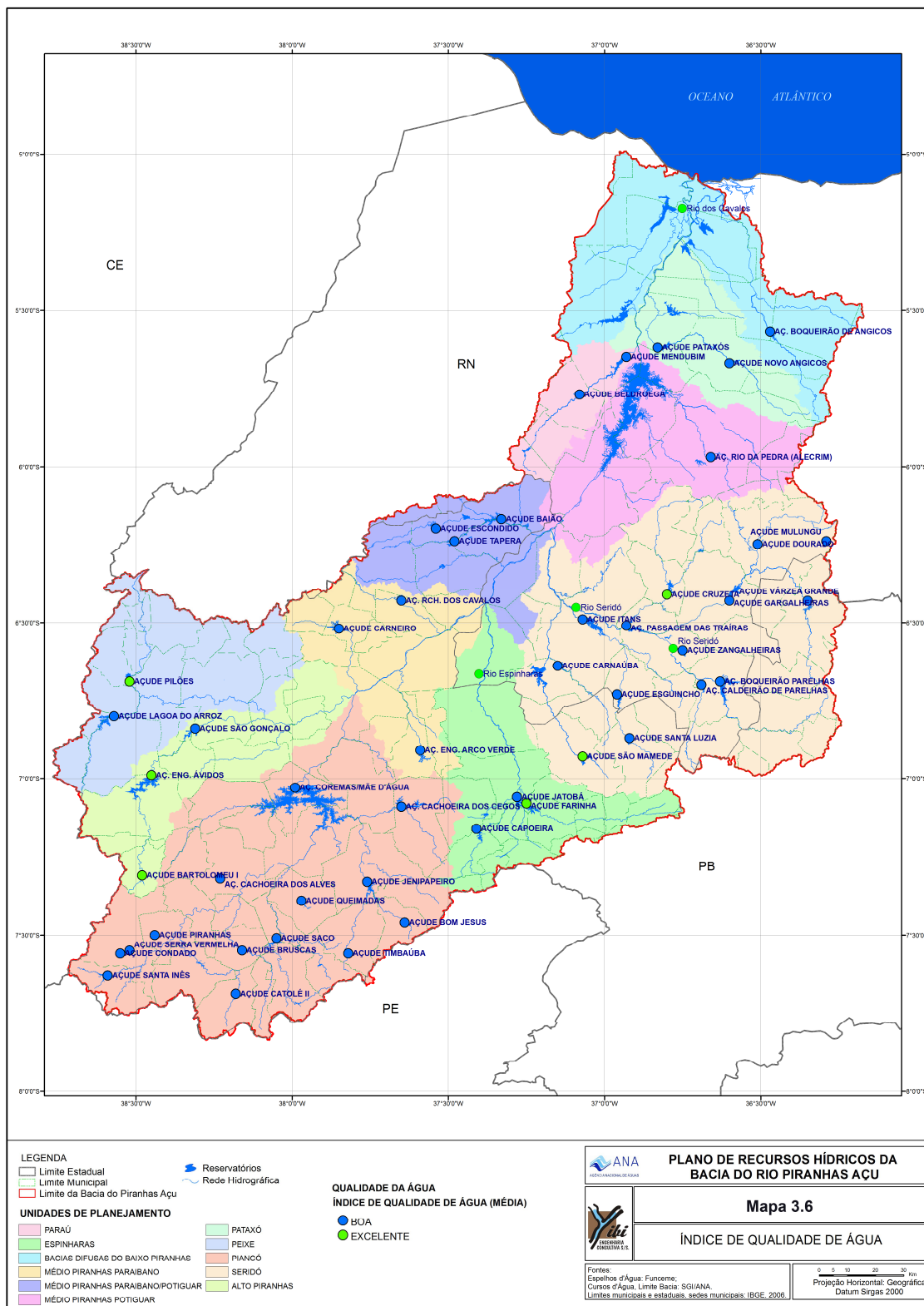


Figura 3.. IQA médio (± 1 desvio padrão) dos açúdes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Pará (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraibano (MPPB), Médio Piranhas Paraibano-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).

Mapa 3.. IQA médio dos açudes e rios monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.



3.4.3. Índice de Estado Trófico - IET

O IET tem por finalidade classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, ou seja, avaliar a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo de microalgas e cianobactérias planctônicas ou infestação de plantas aquáticas.

No presente estudo, este índice foi calculado de acordo com Lamparelli (2004), com base apenas na concentração de fósforo total, já que a concentração de clorofila a não é monitorada na maioria dos pontos de amostragem da bacia.

O resultado do IET assim calculado deve ser entendido como uma medida do potencial de eutrofização, já que o fósforo atua como o principal agente causador do processo. O cálculo do IET baseado na clorofila, por sua vez, deve ser entendido como uma medida da resposta do corpo hídrico ao agente causador, indicando de forma adequada o nível de crescimento de microalgas e cianobactérias que ocorre em suas águas.

Assim, a média entre os dois valores de IET permite englobar tanto a causa quanto o efeito do processo. Quando o processo de eutrofização encontra-se estabelecido, o IET para o fósforo e o IET para a clorofila terão valores coincidentes e permitirão classificar o corpo hídrico num único estado trófico. Por outro lado, quando o crescimento das microalgas e cianobactérias planctônicas encontram-se limitado por outros fatores que não a disponibilidade de fósforo, o IET para a clorofila assume um valor inferior ao IET para o fósforo.

Os valores do IET variam de 0 a 100. As águas do açude ou rio são classificadas em função dos valores de IET em Ultraoligotrófico (0-47), Oligotrófico (47-52), Mesotrófico (52-59), Eutrófico (59-63), Supereutrófico (63-67) e Hipereutrófico (67-100). As concentrações de fósforo total e clorofila a correspondentes a esses valores de IET estão apresentadas na **Tabela 3.5**.

Tabela 3.. Categorias de estado trófico e respectivos valores de índice de estado trófico e concentrações de fósforo total e clorofila a para açudes e rios segundo Lamparelli (2004).

Estado Trófico	IET	Ambiente	P total (µg/L)	Clorofila a (µg/L)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	Açude	P ≤ 8	C ≤ 1,17
		Rio	P ≤ 13	C ≤ 0,74
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	Açude	8 < P ≤ 19	1,17 < C ≤ 3,24
		Rio	13 < P ≤ 35	0,74 < C ≤ 1,31
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	Açude	19 < P ≤ 52	3,24 < C ≤ 11,03
		Rio	35 < P ≤ 137	1,31 < C ≤ 2,96
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	Açude	52 < P ≤ 120	11,03 < C ≤ 30,55
		Rio	137 < P ≤ 296	2,96 < C ≤ 4,70
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	Açude	120 < P ≤ 233	30,55 < C ≤ 69,05
		Rio	296 < P ≤ 640	4,70 < C ≤ 7,46
Hipereutrófico	IET > 67	Açude	P > 233	C > 69,05
		Rio	P > 640	C > 7,46

Observa-se na **Figura 3.7** e **Mapa 3.7**, que os resultados do IET médio, na bacia do Piranhas-Açu, permitiram classificar 28 pontos (60%) como hipereutróficos, quatro pontos (8%) como supereutróficos, quatro pontos (8%) como eutróficos e dez pontos (21%) como mesotróficos.

Entretanto, mesmo os pontos classificados como mesotróficos apresentaram ocasionalmente condições eutróficas em pelo menos uma coleta. Convém destacar que, ao contrário do padrão observado para DBO, o estado trófico dos açudes paraibanos foi geralmente maior do que o estado trófico dos açudes potiguares, sugerindo que a carga de fósforo lançada nos açudes paraibanos deve ser maior do que a carga de fósforo lançada nos açudes potiguares.

Uma explicação alternativa é que esse parâmetro seja analisado pela SUDEMA e IGARN com metodologias diferentes gerando resultados inconsistentes. Portanto, um exercício de calibração de métodos entre as duas agências se faz necessário para testar essa última hipótese.

Um teste t aplicado aos dados de IET dos açudes da PB não demonstrou diferenças significativas nos valores de IET entre os períodos seco e chuvoso, não sendo possível identificar um padrão de variação sazonal no estado trófico dos açudes com os poucos dados disponíveis.

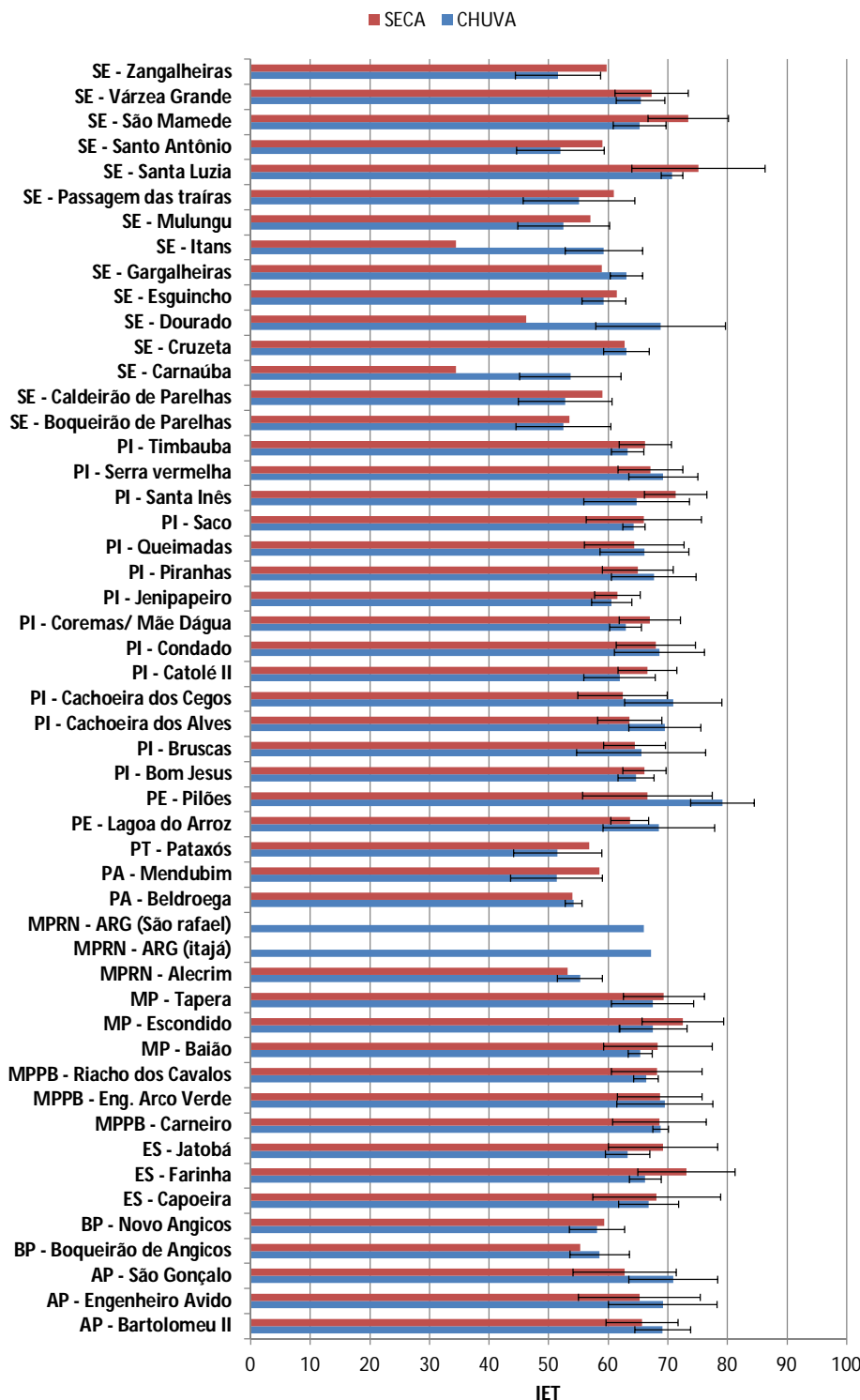
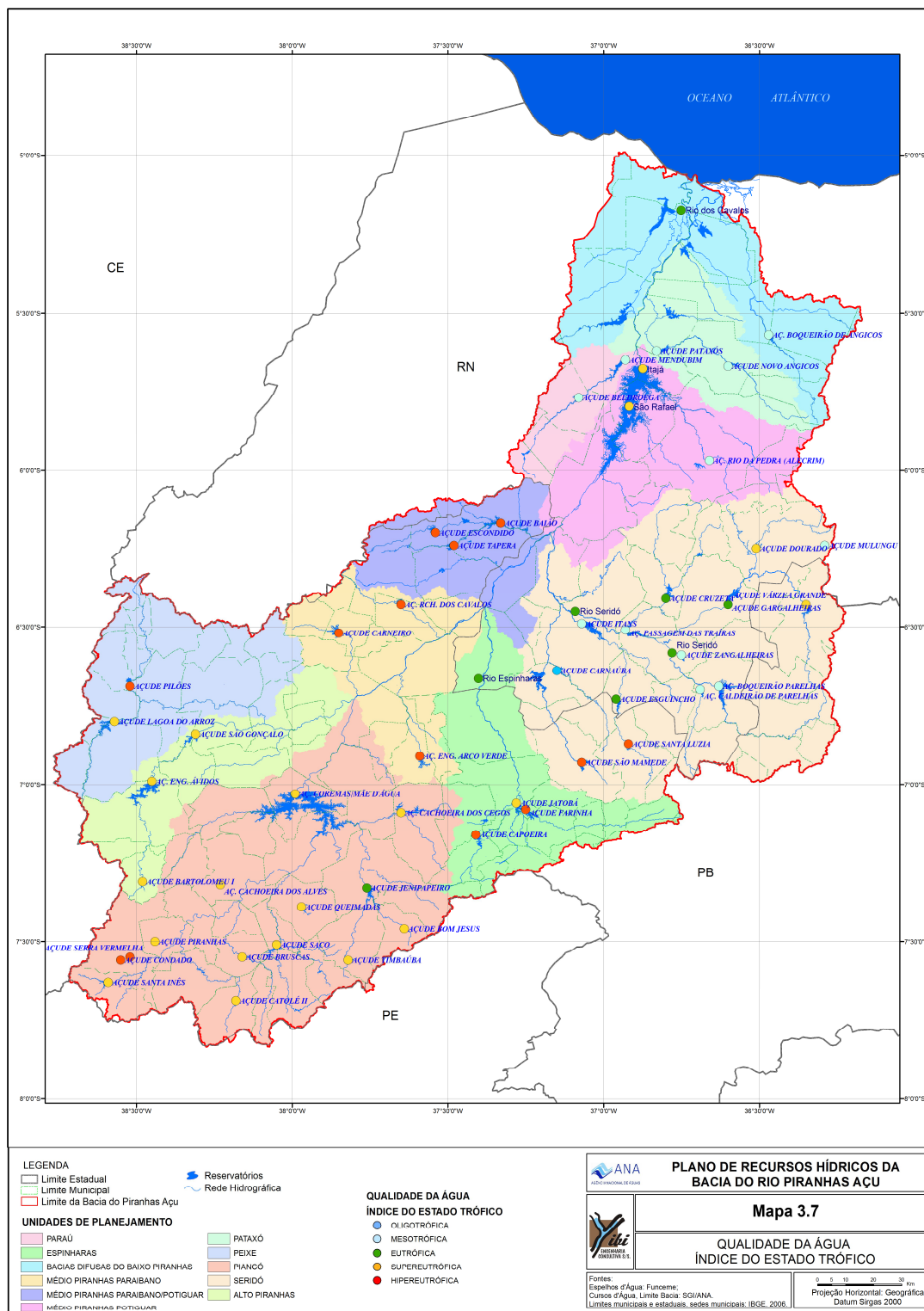


Figura 3.. IET médio (± 1 desvio padrão) dos açúdes monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011 nas Unidades de Planejamento: Seridó (SE), Piancó (PI), Peixe (PE), Pataxós (PT), Paraú (PA), Médio Piranhas Potiguar (MPRN), Médio Piranhas Paraibano (MPPB), Médio Piranhas Paraibano-Potiguar (MP), Espinharas (ES), Baixo Piranhas (BP) e Alto Piranhas (AP).

Mapa 3.. IET médio dos açudes e rios monitorados pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.



Como relatado anteriormente, o principal fator de estímulo para a ocorrência do processo de eutrofização é o enriquecimento excessivo da água por nutrientes, principalmente o fósforo. O uso de fertilizantes nas atividades agrícolas, a drenagem pluvial urbana e o lançamento de esgotos domésticos não tratados ou com tratamento convencional são fatores que contribuem para a elevação das cargas de nutrientes para os açudes.

Vários são os efeitos indesejáveis da eutrofização, entre eles destaca-se o crescimento excessivo de cianobactérias, que podem produzir toxinas letais para os animais e os humanos. Em alguns casos, as toxinas podem permanecer na água mesmo após os tratamentos da água bruta, o que pode agravar seus efeitos crônicos. Portanto, a eutrofização é um grave problema ambiental que compromete a qualidade da água dos açudes da bacia para o abastecimento público, a dessedentação de animais, a recreação de contato primário, a aquicultura e a pesca.

No açude Armando Ribeiro Gonçalves, o maior reservatório do Rio Grande do Norte, um monitoramento realizado em 10 pontos de amostragem entre 2006 e 2007 revelou um gradiente longitudinal nas concentrações de fósforo total na água, as quais decresceram de 0,150 a 0,080 mg/L no sentido da montante à barragem do reservatório (Mosca 2008). Entretanto, as concentrações de fósforo total na água em todos os pontos e meses de amostragem estiveram acima do limite de 0,05 mg/L estabelecido pela resolução Conama 357/2005 para águas doces de Classe 3 e como salientado anteriormente, definido como o limite crítico para deflagrar a eutrofização em açudes de regiões semi-áridas (Thornton & Rast 1993).

Devido a sua grande importância para o Estado do Rio Grande do Norte, o estado trófico do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves, vem sendo monitorado por sensoriamento remoto através de um projeto de cooperação internacional entre o IRD e a ANA. Uma longa série temporal de 833 imagens do satélite MODIS foi utilizada para avaliar o padrão de variação temporal das refletâncias nas bandas espectrais verde e vermelha, as quais estão correlacionadas com as concentrações de clorofila *a* e sólidos inorgânicos em suspensão respectivamente (Martinez et al. 2010). A diferença entre as refletâncias nessas duas bandas espectrais foi utilizada como uma estimativa da concentração de clorofila *a* a partir da qual o índice de estado trófico (IET) do reservatório foi calculado (Martinez et al. 2010). Os resultados mostram que no período de 2000 a 2009 o reservatório esteve mais de 80% do tempo no estado eutrófico ou hipereutrófico com exceção dos anos de 2004, 2008 e 2009 quando houve vertimento do reservatório e renovação da massa de água (**Figura 3.8**). Entretanto, os resultados também mostram a elevada resiliência do estado eutrófico/supereutrófico, pois em 2005, um ano após a grande cheia de 2004, o estado trófico do reservatório já havia voltado aos níveis de 2003 permanecendo 100% do tempo eutrófico ou supereutrófico.

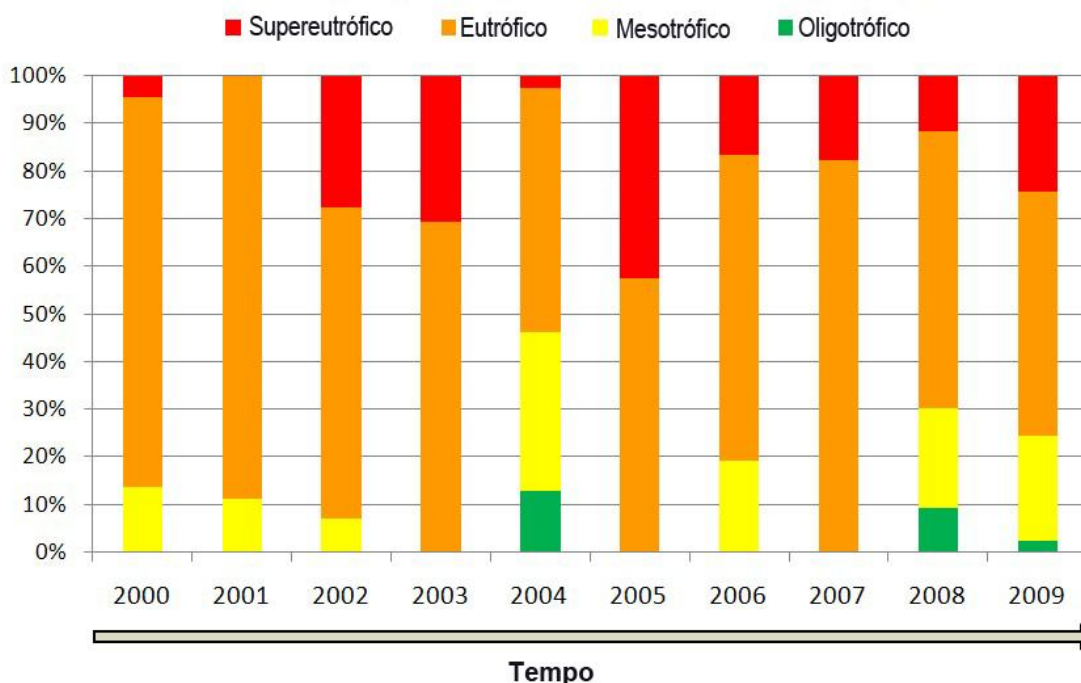


Figura 3.. Variação anual do IET do açude Armando Ribeiro Gonçalves entre 2000 e 2009 e percentagem do tempo que o açude foi classificado nas diferentes categorias de estado trófico em cada ano (dados de Martinez et al. 2010).

A elevada resiliência do estado eutrófico/supereutrófico no reservatório Armando Ribeiro Gonçalves pode ser observada mais detalhadamente na **Figura 3.9**. Esta figura mostra a variação do índice do satélite (diferença entre as refletâncias nas bandas espectrais verde e vermelha) e sua relação com o nível ou volume de água do reservatório. Nos períodos chuvosos de 2008 e 2009, quando houve o vertimento do reservatório, as concentrações de clorofila *a* (medidas indiretamente pelo índice do satélite) reduziram abruptamente, mas em seguida aumentaram novamente atingindo os elevados níveis observados em 2007 à medida que o volume de água do reservatório diminuía nos períodos de estiagem. Portanto, a redução do estado trófico e conseqüente melhoria da qualidade da água com o vertimento do reservatório foi apenas temporário sugerindo que possíveis mudanças nas regras de operação do reservatório não deverão melhorar significativamente a qualidade da água do reservatório Armando Ribeiro se as cargas externas de nutrientes não forem bastante reduzidas.

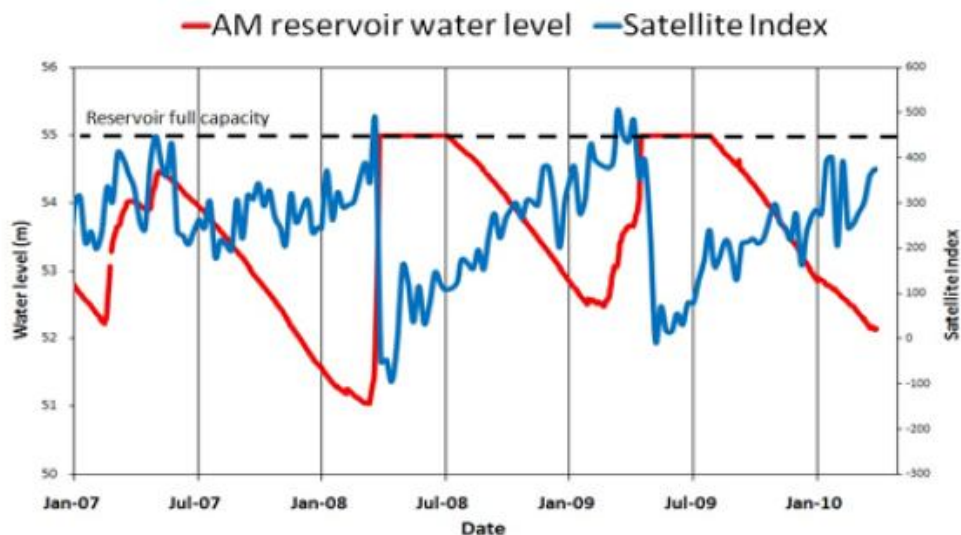


Figura 3.. Variação temporal do índice derivado do satélite MODIS para medir indiretamente as concentrações de clorofila a na água do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves e sua relação com o nível d'água do reservatório entre 2007 e 2010 (dados de Martinez et al. 2010).

3.4.4. Cianobactérias

As florações de cianobactérias tóxicas são muito frequente em mananciais de abastecimento de água da bacia (Costa et al. 2006, Mosca 2008, Vasconcelos et al. 2011). Em um diagnóstico realizado entre os anos de 2002 e 2004 nos açudes Armando Ribeiro Gonçalves, Boqueirão de Parelhas, Gargalheiras, Itans, Passagem das Traíras e Santo Antônio, já havia sido constatado que todos esses reservatórios apresentavam características de intensa eutrofização, tais como elevadas concentrações de fósforo total e clorofila a na água e altas densidades de cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas (Eskinazi-Sant'Anna et al. 2006). A presença de cianotoxinas foi confirmada nesses açudes através de testes de hepatotoxicidade realizados com camundongos (Panosso et al. 2007). Resultados similares também foram encontrados nos açudes Baião, Bruscas, Cachoeira dos Cegos, Carneiro, Condado, Coremas Mãe d'água, Engenheiro Avidos, Jenipapeiro, Lagoa do Arroz e Saco (Vasconcelos et al. 2011).

Portanto, o problema da eutrofização e das constantes florações de cianobactérias tóxicas nos açudes da bacia vem sendo documentado há quase uma década e ações precisam ser urgentemente tomadas para reverter o quadro de eutrofização e deterioração da qualidade da água desses açudes.

No estado do Rio Grande do Norte, o IGARN realiza também o monitoramento da densidade de cianobactérias em alguns dos reservatórios que são utilizados para abastecimento humano. A Tabela 81, apresenta as médias dos resultados obtidos ao longo do período de setembro de 2008 a agosto de 2011, referentes à determinação de densidade de cianobactérias em 8 reservatórios (Açude Cruzeta, Açude Gargalheiras, Açude Beldroega, Açude Pataxós, Açude Santo Antônio, Açude Itans, Açude Boqueirão de Parelhas, Açude Passagem das Traíras). Tendo sido realizadas nesse período 9 (nove) campanhas amostrais (cinco na estação de seca, e 4 na estação chuvosa).

O que se observa, é que quase 100% dos reservatórios amostrados (à exceção do Açude Pataxós), apresentaram densidade de cianobactérias muito elevada, sempre excedendo o limite estabelecido pela Resolução 357/2005 do CONAMA para águas doces de classe 2, que é de 50.000 cél./mL. O mais preocupante, é que geralmente esses reservatórios apresentam dominância de espécies potencialmente tóxicas como *Cylindrospermopsis raciborskii*.

A Portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde define que, para uma densidade acima de 10.000 cél./mL, a amostragem no manancial, no ponto de captação deve ser de frequência semanal. Se a densidade superar as 20.000 cél./mL, a amostragem no manancial no ponto de captação deve ser de frequência semanal, além das análises de cianotoxinas na água tratada e nos hidrômetros de clínicas de hemodiálise.

Tabela 3.. Média da Densidade de Cianobactérias (estação seca a chuvosa) em cél./mL, monitorados nos reservatórios do Rio Grande do Norte (período de setembro de 2008 a agosto de 2011).

Reservatórios	UPs	Média SECA	DP	Média CHUVA	DP
Açude Cruzeta	Seridó	692.518	543.070	331.575	342.440
Açude Gargalheiras	Seridó	416.625	392.840	150.061	24.928
Açude Beldroega	Paraú	58.825	63.432	224.572	253.532
Açude Pataxós	Pataxó	15.714	24.895	SD	-
Açude Santo Antônio	Seridó	500.538	288.275	483.194	411.383
Açude Itans	Seridó	425.174	394.161	184.858	288.427
Açude Boqueirão de Parelhas	Seridó	258.099	142.475	410.708	282.450
Açude Passagem das Traíras	Seridó	552.898	273.785	260.357	287.445
Estuário Macau	Baixo Piranhas	1.781	56	1.140	1.341
Estuário Rio dos Cavalos	Baixo Piranhas	27.489	21.638	66.066	74.411
Estuário Rio das Conchas	Baixo Piranhas	4.124	5.426	1.261	945

DP=Desvio Padrão; SD=Sem dado. Fonte: (Programa Água Azul, Estado do RN).

3.4.5. Metais Pesados

Os resultados mostram que as concentrações médias de cobre dissolvido e chumbo total em todos os açudes estiveram acima dos limites máximos permitidos pela resolução CONAMA 357/2005 para águas doce Classe 2 (**Tabela 3.6**). As concentrações de Zinco, Níquel e Mercúrio estiveram sempre abaixo do limite máximo permitido pela mesma resolução para águas doce Classe 2. Entretanto, não é possível saber se o mesmo aconteceu com as concentrações de Cromo e Cádmiio, pois o limite mínimo de detecção dos métodos utilizados para determinar esses metais foi superior ao valor máximo permitido pela resolução. Portanto, metodologias mais sensíveis para a determinação de Cromo e Cádmiio são necessárias para avaliar o grau de contaminação das águas por esses metais pesados.

Além da eutrofização, a contaminação por metais pesados é outro problema que contribui para a perda de qualidade das águas superficiais da bacia. O mesmo diagnóstico realizado entre os anos de 2002 e 2004 nos açudes Armando Ribeiro Gonçalves, Boqueirão de Parelhas, Gargalheiras, Itans, Passagem das Traíras e Santo Antônio, já havia constatado que esses reservatórios apresentavam concentrações de metais pesados (alumínio, cádmio, chumbo, ferro, níquel, manganês e zinco) acima dos valores máximos permitidos pela resolução CONAMA 357/2005 para águas doces de Classe 2 (Eskinazi-Sant'Anna et al. 2006).

Portanto, o problema da contaminação por metais pesados também já foi documentado há quase uma década e ações precisam ser urgentemente tomadas para reverter esse quadro.

No estuário do rio Piranhas-Açu, a ostra *Crassostrea rhizophorae* tem sido utilizada no biomonitoramento da contaminação por metais pesados (Silva et al. 2003). As concentrações de metais acumuladas nos tecidos da ostra representam registros integrados dos metais biodisponíveis durante o ciclo de vida deste organismo bioindicador. Na região estuarina denominada rio dos cavalos, as concentrações de Zn, Cu e Pb no tecido das ostras atingiram respectivamente 154, 65 e 2.4 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso fresco e foram superiores aos limites máximos de 50, 20 e 1 $\mu\text{g g}^{-1}$ de peso fresco permitidos para consumo humano (Silva et al. 2003). Portanto, a contaminação por metais pesados oferece potencialmente um risco à saúde pública através do consumo de moluscos, peixes e crustáceos contaminados.

Tabela 3.. Média (± 1 desvio padrão) das concentrações de Cobre (Cu) e Chumbo (Pb) na água dos açúdes monitorados pelo IGARN/RN. n.a.= não analisado por ausência de dados.

Código	Açúde	Cu (mg/L)	Pb (mg/L)
RN-001	Armando Ribeiro Gonçalves	n.a.	n.a.
RN-002	Boqueirão de Parelhas	0,27 ($\pm 0,37$)	0,03 ($\pm 0,04$)
RN-003	Itans	0,15 ($\pm 0,15$)	0,02 ($\pm 0,02$)
RN-004	Mendubim	0,16 ($\pm 0,14$)	0,02 ($\pm 0,01$)
RN-005	Sabugi	-	0,02 ($\pm 0,02$)
RN-006	Passagem das Trairas	0,09 ($\pm 0,15$)	0,05 ($\pm 0,01$)
RN-007	Marechal Dutra	0,06 ($\pm 0,05$)	0,05 ($\pm 0,04$)
RN-008	Cruzeta	0,36 ($\pm 0,49$)	0,05 ($\pm 0,06$)
RN-009	Carnaúba	0,11 ($\pm 0,15$)	0,03 ($\pm 0,01$)
RN-010	Pataxó	0,14 ($\pm 0,09$)	0,02 ($\pm 0,01$)
RN-011	Esguicho	0,24 ($\pm 0,23$)	0,07 ($\pm 0,08$)
RN-012	Boqueirão de Angicos	0,06 ($\pm 0,03$)	0,04 ($\pm 0,03$)
RN-013	Rio da Pedra (Alecrim)	0,08 ($\pm 0,06$)	0,01 ($\pm 0,00$)
RN-014	Beldroega	0,20 ($\pm 0,11$)	0,03 ($\pm 0,02$)
RN-015	Dourado	0,27 ($\pm 0,34$)	0,05 ($\pm 0,02$)
RN-016	Caldeirão de Parelhas	-	0,05 ($\pm 0,04$)
RN-017	Mulungu	0,32 ($\pm 0,38$)	0,05 ($\pm 0,04$)
RN-018	Zangalheiras	0,13 ($\pm 0,18$)	0,04 ($\pm 0,03$)
RN-019	Novo Angicos	0,11 ($\pm 0,11$)	0,04 ($\pm 0,01$)

3.2.6 Salinidade

As médias dos valores de salinidade monitorados pelo Estado do Rio Grande do Norte nos pontos de amostragem da bacia do Piranhas-Açu (apresentados na **Tabela 3.7**) mostram que os reservatórios apresentam-se, na sua totalidade, como enquadrados na classe de águas doces (até 0,5 ‰), conforme define a Resolução 357/2005 do CONAMA, a exceção do Açúde Mulungu que apresentou-se no limiar dessa faixa (0,48 ‰). Entretanto, a ausência de série

temporal de dados não permitiu uma avaliação do comportamento desse parâmetro ao longo das estações de seca e chuva.

Tabela 3.. Média da concentração de salinidade (‰) nos reservatórios do RN (período de setembro de 2008 a agosto de 2011).

Reservatórios	UPs	Média	DP
Açude Mulungu	Seridó	0,48	0,11
Açude Esguincho	Seridó	0,17	0,04
Açude Caldeirão de Parelhas	Seridó	0,28	0,07
Açude Carnaúba	Seridó	0,05	0,02
Açude Cruzeta	Seridó	0,16	0,07
Açude Gargalheiras	Seridó	0,30	0,31
Açude Dourado	Seridó	0,29	0,08
Açude Zangalheiras	Seridó	0,21	0,06
Rio Seridó	Seridó	0,16	0,15
Açude Sto Antônio	Seridó	0,08	-
Açude Itans	Seridó	0,05	0,01
Rio Seridó (Caicó)	Seridó	0,13	0,04
Açude Passagem das Traíras	Seridó	0,17	0,16
Açude Mendubim	Paraú	0,14	0,10
Açude Beldroega	Paraú	0,12	0,14
Açude Pataxós	Pataxós	0,14	0,05
Açude Alecrim	Médio Piranhas RN	0,14	0,05
Açude Novo Angicos	Baixo Piranhas	0,11	0,10
Estuário Macau	Baixo Piranhas	18,59	12,37
Estuário Rio dos Cavalos	Baixo Piranhas	11,05	4,33
Rio Piranhas-Açu -Ponte Alto dos Rodrigues	Baixo Piranhas	0,08	-
Açude Boqueirão de Parelhas	Baixo Piranhas	0,23	0,09
Açude Boqueirão de Angicos	Baixo Piranhas	0,14	0,03
Estuário Rio Camurupim	Baixo Piranhas	30,48	4,55
Estuário Rio das Conchas	Baixo Piranhas	28,27	13,56
Rio Seridó (São Fernando)	Seridó	0,17	0,09
Rio Piranhas-Açu	Seridó	0,07	-

UPs = Unidades de Planejamento; DP = Desvio Padrão. Fonte: (Programa Água Azul, Estado do RN).

As médias dos valores de Condutividade Elétrica e Sólidos Dissolvidos Totais monitorados pelo Estado da Paraíba nos pontos de amostragem da bacia do Piranhas-Açu (apresentados nas **Tabela 3.8** e **3.9** respectivamente) não mostraram evidência de padrão sazonal entre período seco e chuvoso, quando os dados foram submetidos à aplicação do teste t.

As médias das concentrações de Sólidos Dissolvidos Totais - SDT nesses ambientes, estiveram sempre abaixo do Valor Limite Permitido – VLP, para águas doces Classe 1, 2 e 3 (500 mg/L) da Resolução CONAMA 357/05, e da Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde (1000 mg/L).

Salienta-se ainda, que o reduzido número de campanhas amostrais realizadas até o momento não permite uma análise mais detalhada, no que se refere a evolução da salinização desses corpos hídricos.

Tabela 3.. Média dos valores de Condutividade Elétrica (estação seca a chuvosa) em $\mu\text{S}/\text{cm}$, nos reservatórios da Paraíba (período de abril de 2007 a outubro de 2010).

Reservatórios	UPs	Média CHUVA	DP	Média SECA	DP
Aç Lagoa do Arroz (Cajazeiras)	Peixe	238	33	216	45
Aç Coremas (Coremas)	Piancó	208	21	197	19
Aç Mãe D'Água (Coremas)	Piancó	180	19	204	44
Aç Serra Vermelha (Conceição)	Piancó	255	28	254	21
Aç Condado (Conceição)	Piancó	216	18	219	10
Aç Santa Inês (Santa Inês)	Piancó	361	50	373	50
Aç Piranhas (Ibiara)	Piancó	203	17	206	15
Aç Bruscas (Curral Velho)	Piancó	352	53	361	57
Aç Cachoeira dos Alves (Itaporanga)	Piancó	151	30	155	26
Aç Saco (Nova Olinda)	Piancó	342	22	350	31
Aç Queimadas (Santana dos Garrotes)	Piancó	164	23	168	34
Aç Jenipapeiro (Olho D'Água)	Piancó	285	25	280	26
Aç Cachoeira dos Cegos (catingueira)	Piancó	120	37	131	19
Aç Bom Jesus (Água Branca)	Piancó	394	154	402	117
Aç Timbauba (Juru)	Piancó	431	40	411	91
Ac Catolé II (Manaíra)	Piancó	485	162	534	90
Aç Capoeira (Santa Terezinha)	Espinharas	231	1	244	39
Aç Jatobá (Patos)	Espinharas	201	113	282	93
Aç Farinha (Patos)	Espinharas	398	149	379	235
Aç Eng. Ávido (Cajazeiras)	Alto Piranhas	176	19	176	28
Aç Bartolomeu (Bonito de Santa Fé)	Alto Piranhas	229	8	232	33
Aç Eng. Arco Verde (Condado)	Médio Piranhas PB	193	77	179	78
Aç Baião (São José do Brejo do Cruz)	Médio Piranhas PBRN	222	40	258	51
Ac Tapera (Bélem do Brejo do Cruz)	Médio Piranhas PBRN	252	99	230	119
Ac Escondido (Belem do Brejo do Cruz)	Médio Piranhas PBRN	255	92	303	152
Ac Riacho dos Cavalos (Riac. dos Cavalos)	Médio Piranhas PB	379	64	422	128

UPs = Unidades de Planejamento; DP = Desvio Padrão. Fonte: (SUDEMA, Estado da PB).

Tabela 3.. Média dos valores de Sólidos Dissolvidos Totais (estação seca a chuvosa) em mg/L, nos reservatórios da Paraíba (período de abril de 2007 a outubro de 2010).

Reservatórios	UPs	Média CHUVA	DP	Média SECA	DP
Aç Lagoa do Arroz (Cajazeiras)	Peixe	162	22	151	34
Aç Coremas (Coremas)	Piancó	141	15	134	12
Aç Mãe D'Água (Coremas)	Piancó	122	13	139	29
Aç Serra Vermelha (Conceição)	Piancó	173	19	173	14
Aç Condado (Conceição)	Piancó	147	12	149	7
Aç Santa Inês (Santa Inês)	Piancó	245	34	253	34
Aç Piranhas (Ibiara)	Piancó	138	12	140	11
Aç Bruscas (Curral Velho)	Piancó	240	37	246	38
Aç Cachoeira dos Alves (Itaporanga)	Piancó	103	20	105	17
Aç Saco (Nova Olinda)	Piancó	233	15	238	21
Aç Queimadas (Santana dos Garrotes)	Piancó	112	16	114	23
Aç Jenipapeiro (Olho D'Água)	Piancó	194	16	191	17
Aç Cachoeira dos Cegos (catingueira)	Piancó	82	25	89	13
Aç Bom Jesus (Água Branca)	Piancó	268	104	255	85
Aç Timbauba (Juru)	Piancó	293	28	295	43
Ac Catolé II (Manaíra)	Piancó	375	47	384	44
Aç Capoeira (Santa Terezinha)	Espinharas	157	1	166	27
Aç Jatobá (Patos)	Espinharas	137	77	164	63
Aç Farinha (Patos)	Espinharas	271	102	294	136
Aç Eng. Ávido (Cajazeiras)	Alto Piranhas	120	13	120	19
Aç Bartolomeu (Bonito de Santa Fé)	Alto Piranhas	156	6	158	23
Aç Eng. Arco Verde (Condado)	Médio Piranhas PB	131	52	122	54
Aç Baião (São José do Brejo do Cruz)	Médio Piranhas PBRN	151	27	176	35
Ac Tapera (Bélem do Brejo do Cruz)	Médio Piranhas PBRN	171	67	157	81
Ac Escondido (Belem do Brejo do Cruz)	Médio Piranhas PBRN	173	63	206	104
Ac Riacho dos Cavalos (Riac. dos Cavalos)	Médio Piranhas PB	258	43	266	79

UPs = Unidades de Planejamento; DP = Desvio Padrão. Fonte: (SUDEMA, Estado da PB).

3.5. Análise Geral

A poluição das águas superficiais da bacia tem como origem diversas fontes, associadas ao tipo de uso e ocupação do solo, dentre as quais se destacam os efluentes domésticos e industriais e a carga difusa urbana e agropastoril.

Cada uma das fontes citadas possui características próprias quanto aos poluentes que carregam. Os esgotos domésticos, por exemplo, apresentam compostos orgânicos biodegradáveis, nutrientes e microrganismos patogênicos. Já para os efluentes industriais há uma maior diversificação nos contaminantes lançados nos corpos d'água, em função dos tipos de matérias-primas e processos industriais utilizados.

O deflúvio superficial urbano contém, geralmente, todos os poluentes que se depositam na superfície do solo. Na ocorrência de chuvas, os materiais acumulados em valas, bueiros, etc., são arrastados pelas águas pluviais para os cursos d'águas superficiais, constituindo-se numa fonte de poluição tanto maior quanto menos eficiente for a coleta de esgotos ou a limpeza pública.

A cobertura dos serviços de coleta de esgotos sanitários se restringe a cerca de 6% da população total da bacia e grande parte dos esgotos coletados não recebe qualquer tipo de tratamento. Os 94 % restantes dos esgotos sanitários são lançados diretamente na rede de drenagem natural ou no sistema de drenagem urbana, que por sua vez são direcionados aos rios ou riachos e aos açudes.

O lançamento de esgotos domésticos adquire maior significância quando se considera o caráter intermitente dos seus cursos d'água, cuja capacidade de autodepuração de esgotos é praticamente nula. No caso específico dos açudes, aparece como fator agravante o elevado tempo de residência da água nesses ambientes, que como já foi mencionado facilita os processos de eutrofização e salinização das águas represadas. Outro problema urbano é a disposição inadequada de resíduos sólidos que jogados às margens dos rios e dos canais, ou diretamente em suas águas, constitui-se em cargas poluidoras orgânicas ou tóxicas significativas.

A poluição agropastoril é decorrente das atividades ligadas à agricultura, pecuária e aqüicultura. Seus efeitos dependem muito das práticas utilizadas e da época do ano em que se realizam as preparações do terreno para o plantio, assim como, do uso intensivo dos defensivos agrícolas. A contribuição representada pelo material proveniente da erosão de solos intensifica-se quando da ocorrência de chuvas em áreas rurais. Os agrotóxicos e fertilizantes com alta solubilidade em água podem contaminar águas subterrâneas e superficiais através do seu transporte com o fluxo de água.

O uso e manejo dos solos da bacia para as atividades agropecuárias são geralmente inadequados. Dentre as práticas impróprias destacam-se o cultivo em áreas inadequadas, o manejo inadequado da irrigação e o desmatamento da Caatinga. Tais atividades podem acarretar o desenvolvimento de processos erosivos, a formação de áreas desertificadas e a salinização dos solos. Os resultados do monitoramento da qualidade da água mostram que os valores de turbidez, DBO e coliformes são em geral mais elevados no período chuvoso. Isso sugere que a poluição por cargas difusas de efluentes domésticos, agropastoris e industriais seja mais importante que a poluição por cargas pontuais.

Com relação aos poluentes das atividades agrícolas, destacam-se os fertilizantes e os agrotóxicos. Os perímetros irrigados em operação (públicos ou privados) tendem a ser as maiores fontes de poluição de natureza agrícola. Dado o caráter econômico de sua exploração, é mais provável que se faça uso excessivo de pesticidas e de fertilizantes do que nas áreas em que se pratica uma agricultura meramente de subsistência, onde normalmente os agricultores não dispõem de renda ou linhas de crédito para custeio de pesticidas e/ou fertilizantes.

Dentre as atividades industriais poluidoras na bacia destaca-se a produção de petróleo e gás natural na região do Baixo Açu. Há também uma proliferação de indústrias ceramistas nas regiões do Seridó e do Baixo Açu, que além de desmatarem a Caatinga para produção da lenha utilizada como combustível geram poluentes atmosféricos através da combustão da lenha. Embora a indústria alimentícia seja ainda incipiente na bacia, o setor de beneficiamento

de produtos derivados do leite é importante na região do Seridó e gera efluentes orgânicos com potencial poluidor. O setor têxtil também assume posição de destaque na região do Seridó e gera efluentes químicos oriundos de processos de lavagem e fixação de cores que contém resíduos orgânicos e metais pesados, como o acetato de chumbo. Os efluentes oriundos de matadouros também contribuem para a poluição dos corpos d'água na bacia.

A bacia ainda detém importantes jazidas de minerais de interesse econômico. As atividades de mineração são praticadas intensamente na região do Seridó (scheelita e pegmatitos) e do baixo Açu (mármore e granitos), além da pulverização espacial de pequenos garimpos sazonais, principalmente na região do Seridó. Nesta região, a atividade minerária é praticada principalmente de forma extensiva, havendo garimpos de minérios de rochas calcárias, de tactitos (scheelita, principalmente), de rochas pegmatíticas hospedeiras de tantalitas, cassiteritas e de gemas preciosas e semipreciosas (berilo, turmalinas, águas marinhas, etc.) o que a torna uma das áreas mais degradadas da bacia, já que a atividade minerária está associada a desmatamentos para fins diversos, destruindo a cobertura vegetal e poluindo os recursos hídricos.

Todas essas fontes de poluição contribuem para a degradação da qualidade das águas superficiais da bacia, mas a importância relativa das diferentes fontes permanece desconhecida. Estimativas das cargas poluidoras de origem doméstica, industrial e agropastoril estão sendo realizadas e serão apresentadas no próximo relatório. Tais estimativas permitirão identificar as principais fontes poluidoras e subsidiarão as ações de gestão ambiental na bacia visando o controle das cargas poluentes.

4. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

4. DISPONIBILIDADE HÍDRICA SUBTERRÂNEA

4.1. Introdução

Este capítulo trata dos aspectos hidrogeológicos da Bacia Hidrográfica do Piranhas – Açu, baseado em dados secundários, procurando retratar as águas subterrâneas sob o foco da ocorrência, captação, qualidade e reservas. Os recursos hídricos subterrâneos, apesar de não-fotogênicos, uma vez que só aparecem quando explorados, representam importantes fontes para inúmeras comunidades, passando a constituir um ponto fundamental nas considerações da gestão integrada dos recursos hídricos.

A abordagem hidrogeológica foi individualizada por domínios hidrogeológicos Poroso, Cárstico e Fraturado (Fissural), gerando informações e dados para o entendimento da gestão dos recursos hídricos de forma integrada.

Quanto à concepção das disponibilidades das águas subterrâneas, foi realizada com o auxílio das fórmulas clássicas existentes e praticadas para o contexto hidrogeológico, mostrando o volume hídrico captado pelos poços em operação e/ou aqueles capazes de se operar. É importante ressaltar que o cálculo das disponibilidades hídricas foi realizado, em função da escala de trabalho, para os domínios hidrogeológicos tratados e contempla, neste momento, a divisão adotada de UPs, em concordância com proposição do projeto.

4.1.1. Documentos consultados

Fez-se um levantamento do acervo técnico hidrogeológico pertinente a área de trabalho, composto por mapas temáticos, relatórios técnicos, planos estaduais de recursos hídricos, monografias, dissertações e teses, junto a Universidades, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, COGERH/SRH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos/Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, DNOCS – Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente do Estado da Paraíba, Secretaria dos Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte, empresas particulares construtores de poços e de consultorias especializadas em recursos hídricos subterrâneos. Dentre os principais documentos consultados, destacam-se os seguintes:

- ✓ CAVALCANTE, I.N. – 1998 - Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará. Tese de Doutorado. IG/USP. São Paulo – SP. 167p.
- ✓ Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte – SRH/RN/Hidroservice Engenharia Ltda – 1998 – Plano Estadual dos Recursos Hídricos/Relatório Síntese.
- ✓ Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado da Paraíba – 2005 – Plano Estadual dos Recursos Hídricos do Estado da Paraíba
- ✓ CPRM/Serviço Geológico do Brasil – 2005 - Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Projeto “Cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea”.
- ✓ CPRM/UFRN/FINEP – 2007a - Hidrogeologia do Aquífero Açu na Borda Leste da Bacia Potiguar: Trecho Upanema - Afonso Bezerra. Relatório Integrado. Rede Cooperativa de Pesquisa Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro.

- ✓ CPRM/UFCG/FINEP – 2007b - Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe – PB. Relatório Integrado. Rede Cooperativa de Pesquisa Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro.
- ✓ CPRM/SIAGAS – 2011 - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>
- ✓ CPRM/Serviço Geológico do Brasil – 2012 – Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas – Aquífero Açú, Bacia Sedimentar Potiguar, Vol. 2. 33p.

4.1.2. Dados Utilizados

Os dados de poços foram obtidos predominantemente do Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte - Projeto “Cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea” (CPRM, 2005). Tais informações estão também contidas no banco de dados denominado Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS, o qual foi consultado em nível de conhecimento sobre perfis litológicos no âmbito da Bacia Piranhas - Açú.

Procurou-se elaborar um *Cadastro de Poços Tubulares das Águas Subterrâneas* para a Bacia Piranhas - Açú. Esta etapa foi desenvolvida buscando-se compor um arquivo de dados de poços e análises qualitativas das águas subterrâneas, em planilhas Excel, sendo alguns parâmetros posteriormente trabalhados em termos de gráficos estatísticos. No arquivo, procurou-se ter de modo mais completo possível os dados e parâmetros hidrogeológicos e qualitativos, incluindo, desde que possível, perfis técnico-construtivos e litológicos relacionados aos poços, facilitando a interpretação hidrogeológica. Para o desenvolvimento desta etapa foram utilizados dados da CPRM (2005), acrescidos de algumas informações atualizadas pelo SIAGAS (2011). Foram mantidos, ainda, contatos com empresas de construção de poços, com CPRM (complementação de dados disponibilizados) e com as secretarias governamentais que possuem arquivos de poços. É importante salientar que este cadastro deve ser construído com o maior número de dados possível, dados estes que, muitas vezes, o SIAGAS/CPRM não possui.

Os dados de poços foram tratados através de programas estatísticos, surfer, gráficos e ambiente SIG, sendo traduzidos em mapas de zoneamento temáticos de parâmetros previamente selecionados, a exemplo de profundidade de poços, nível estático, vazão dos poços tubulares e STD – Sólidos Totais Dissolvidos, sendo os mapas de zoneamento elaborados no ambiente SIG utilizando-se o método de krigagem. O tratamento hidrogeológico está focado nos domínios Poroso, Cárstico e Fraturado, dependente do volume de dados obtidos na pesquisa bibliográfica.

4.1.3. Conceituação/Glossário

Aquífero – corpo litológico capaz de armazenar e liberar água, ou seja, com boas porosidade e permeabilidade;

Diagrama de Piper – Diagrama composto por dois triângulos na base e um paralelograma acima, onde devem ser plotadas as concentrações dos íons maiores (em % de meq/L) que, interligados, resultam na classificação iônica das águas, aplicado neste relatório particularmente às águas subterrâneas;

Disponibilidade Efetiva (Disponibilidade Instalada) - Representa o volume de água normalmente captado pelos poços instalados;

Disponibilidade Instalável – Representa o volume de água normalmente captado pelos poços que não estão em uso mas são passíveis de entrarem em operação;

Domínio Hidrogeológico – Abrange unidades sedimentares ou um conjunto de formações litológicas com características geológicas similares, mesmo com características hidrogeológicas que levem a diferentes classificações em relação ao armazenamento e liberação de água subterrânea;

Domínio Hidrogeológico Poroso – Conjunto de unidades ou formações sedimentares clásticas;

Domínio Hidrogeológico Cárstico – Conjunto de formações carbonáticas;

Domínio Hidrogeológico Fraturado – Conjunto de formações geológicas ígneas ou metamórficas, comumente designadas como “cristalinas”;

Isópacas - Isolinhas representativas das variações das espessuras de uma unidade litoestratigráfica;

Permeabilidade – Capacidade que um corpo litológico possui de se deixar atravessar por um fluido (água);

Porosidade – Capacidade que um corpo litológico possui de armazenar um determinado fluido (água);

Reservas Renováveis (Rr) - São representadas pelo volume hídrico armazenado entre os níveis de flutuação máximo e mínimo dos aquíferos livres. Participa do ciclo hidrológico numa escala de tempo anual, interanual ou sazonal estando, desta forma, em constante movimento. Existem várias maneiras de se realizar o cálculo destas reservas, sendo as mais comuns: 1^o) Cálculo da Vazão de Escoamento Natural (VEN); 2^o) Hidrograma de escoamento superficial, com cálculos a partir das curvas de recessão, no trecho correspondente à restituição do excesso infiltrado no meio poroso; 3^o) Método volumétrico, tendo-se por base a flutuação (Δh) dos níveis d'água nos aquíferos livres, sendo expressa por $R_r = A \cdot \Delta h \cdot \eta_e$, onde A = área de ocorrência do aquífero (L^2), Δh = variação do nível d'água (L) e η_e = porosidade efetiva (adimensional) para aquíferos livres ou S = Coeficiente de armazenamento para aquíferos confinados a semi-confinados.

Reservas Permanentes (Rp) - Estas reservas representam o volume de água subterrânea que participa do ciclo hidrológico numa escala de tempo plurianual, centenária ou milenar. Correspondem aos volumes estocados abaixo do limite inferior de flutuação sazonal do nível de saturação dos aquíferos livres ou dos níveis potenciométricos dos aquíferos confinados (CAVALCANTE, 1998). As reservas permanentes serão calculadas pelo método volumétrico utilizando-se as seguintes fórmulas: $R_p = A \cdot h_o \cdot \eta_e$, onde A = área de ocorrência do sistema aquífero (L^2), h_o = espessura saturada (L), e η_e = porosidade efetiva (adimensional) no caso de sistema livre. No caso do sistema aquífero confinado, as reservas permanentes são calculadas pela somatória de $R_p = A \cdot h_o \cdot \eta_e$ mais o volume armazenado sob pressão dado pela equação $R_p = A \cdot h_o \cdot S$, onde S = coeficiente de armazenamento;

Recursos explotáveis (Re) ou Potencialidade Aquífera (P) - Representam os volumes que podem ser utilizados das reservas naturais, em função das reservas renováveis (reguladoras) ou dos meios técnico-financeiros de que se disponha, ou seja, da variável de decisão que leva em consideração outros objetivos e fatores limitantes, a exemplo da taxa de renovabilidade natural (CAVALCANTE, 1998); DUARTE (1996, 1997) define recursos explotáveis como sendo “*aqueles que estão disponíveis sem que haja comprometimento do aquífero nem do meio ambiente*” e os associa com as disponibilidades hídricas do sistema aquífero, resultando no dimensionamento da potencialidade aquífera. Admite-se que, sem prejuízo para o aquífero, se possa explorar toda a reserva renovável e mais uma parcela da reserva permanente, que representem no período de 50 anos um valor de 30% dessas reservas. Assim, tem-se que $P = R_r + (0,006 \times R_p)$, onde: P – Potencialidade aquífera; R_r – Reserva renovável; R_p – Reserva permanente;

Sólidos Totais Dissolvidos – Somatório das concentrações iônicas de uma solução (água), sem a presença de colóides;

Vazão informada – Vazão informada verbalmente pelo usuário à época de um cadastramento de campo;

Vazão medida – Vazão obtida de ensaios de bombeamento.

4.2. Aspectos Geológicos Regionais da Bacia do Piranhas-Açu

No contexto geológico regional da Bacia Hidrográfica Piranhas - Açu ocorrem rochas ígneas e metamórficas do embasamento cristalino e as sedimentares da Bacia Potiguar e da Bacia do Rio do Peixe.

A Bacia Hidrográfica Piranhas-Açu está localizada no Rio Grande do Norte - RN (40%) e Paraíba – PB (60%). Na Paraíba, a porção norte é marcada por rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico e sedimentares. Na parte central existem quartzitos, gnaisses e granitos. No centro-sul há predominância do Complexo Cristalino sobre terrenos sedimentares (COSTA, 2008).

No Rio Grande do Norte (RN) existe uma predominância de rochas cristalinas dos Complexos de Caicó, São Vicente e Seridó. No sudeste, relacionado à parte da bacia inserida no RN, destaca-se, ainda, a ocorrência de duas grandes manchas, constituídas por arenitos caulíníticos, arenitos ferruginosos e lateritas, relacionadas à Formação Serra do Martins (Terciário), recobrando terrenos do embasamento Pré-Cambriano. Na parte norte da mesma, menos representativa em área que na Bacia Apodi-Mossoró, ocorrem calcários da Formação Jandaíra e arenitos da Formação Açu e Grupo Barreiras. A planície flúvio-marinha, que constitui o renomado Vale do Açu, é constituída por sedimentos quaternários (COSTA, op. Cit.).

4.2.1. Embasamento Cristalino

O embasamento cristalino constitui o substrato rochoso de todo o pacote sedimentar. Compreende a Faixa Seridó, que está incluída entre um dos diversos cinturões orogênicos que compõem a Província Borborema (ALMEIDA *et al*, 1977), possuindo limite ao norte com a Bacia Potiguar, ao leste com a Bacia Pernambuco-Paraíba, ao sul limitado pela Zona de Cisalhamento de Patos e, ao oeste, com a Zona de Cisalhamento Portalegre.

No contexto regional é composto por rochas ígneas e metamórficas de diferentes graus de metamorfismo, a exemplo de granitos, gnaisses, xistos e migmatitos, dentre outras, com diferentes níveis de competência tectônica o que leva a variados graus de fraturamento causados pela tectônica rúptil e dúctil, e, conseqüentemente, diferentes comportamentos hidrogeológicos em termos de armazenamento de água subterrânea.

4.2.2. *Bacia Potiguar*

A Bacia Potiguar, com 41.000 km², localiza-se na porção extremo nordeste do Brasil, mais precisamente na margem costeira norte do Estado do Rio Grande do Norte e nordeste do Ceará. Possui como limite oeste o Alto de Fortaleza; a sudoeste e ao sul, o embasamento cristalino da Faixa Seridó e, ao norte e nordeste, a cota batimétrica de 200 m.

– Arcabouço Estrutural

A Bacia Potiguar tem em seu arcabouço estrutural três (3) unidades básicas que comportam seqüências sedimentares distintas (Neocomianas a Terciárias): *Grábens*, *Altos internos* e *Plataformas do embasamento* (BERTANI *et al.*, 1990).

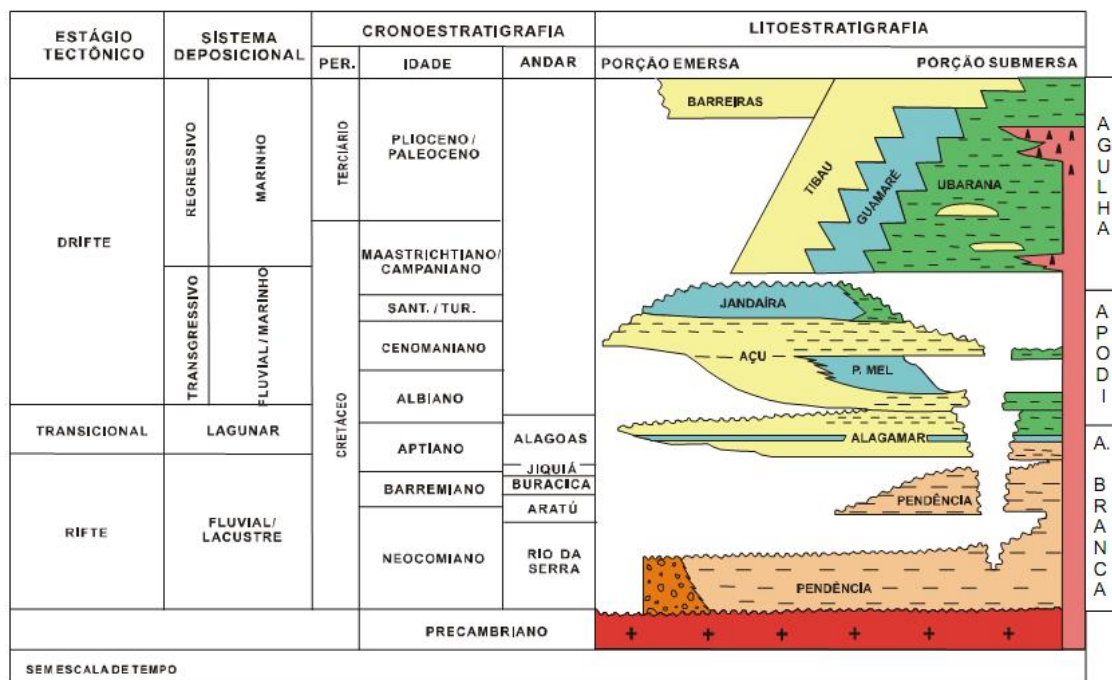
Grábens: preenchidos por seqüências sedimentares do Cretáceo Inferior. Na porção terrestre são representados pelos Grábens do Apodi, Umbuzeiro, Guamaré e Boa Vista, que exibem feições lineares (direção NE-SW) e formas assimétricas. Na porção submersa mostram-se orientados sub-paralelamente à linha de costa atual;

Altos internos: os principais são os de Quixaba, Serra do Carmo e Macau, e correspondem as cristas alongadas do embasamento, sendo compostos por gnaisses, migmatitos ou xistos soerguidos por falhas normais. Não são observadas seqüências sedimentares provavelmente devido a erosão;

Plataformas do embasamento: Os grábens centrais estão delimitados a leste e oeste por plataformas rasas do embasamento, denominadas de Touros e Aracati, sendo geralmente recobertas por sedimentos do Aptiano e Cretáceo Superior, na porção emersa, e seqüências Terciárias na porção marítima.

– Estratigrafia

Araripe & Feijó (1994) dividem as seqüências sedimentares da Bacia Potiguar em três (3) grupos (**Figura 4.1**): Areia Branca, Apodi e Agulha, representando a sedimentação do Neocomiano até o recente. Foram individualizadas, também, três grupos de rochas vulcânicas presentes na Bacia Potiguar: a Formação Rio Ceará-Mirim, Serra do Cuó, e Macau, além das coberturas terciário-quadernárias do Grupo Barreiras. O Grupo Apodi é composto por rochas clásticas e carbonáticas das Formações Açú, Jandaíra, Ponta do Mel e Quebradas.



Fonte: Araripe & Feijó, 1994

Figura 4.. Estratigrafia da Bacia Potiguar, nordeste do Brasil.

Neste trabalho, serão abordadas somente as Formações Açú e Jandaíra ocorrentes no âmbito da Bacia Piranhas – Açú. A descrição maior das unidades geológicas que compõem a Bacia Potiguar se encontra no Relatório Integrado “Hidrogeologia do Aquífero Açú na Borda Leste da Bacia Potiguar: Trecho Upanema – Afonso Bezerra” desenvolvido pelo grupo de hidrogeologia da UFRN para a CPRM/FINEP (2007a).

4.2.2.1. Formação Açú

A Formação Açú ocorre na Bacia Piranhas – Açú sendo representada por espessas camadas de sedimentos clásticos com até 1.000 metros, representados predominantemente por arenitos médios a grosseiros, esbranquiçados, intercalados com folhelhos e argilitos verde-claro e siltitos castanho-avermelhados. Tal formação exibe contato inferior discordante e erosivo com a Formação Alagamar e com o embasamento cristalino, e em sua porção superior é concordante com a Formação Jandaíra, lateralmente, em direção ao mar, interdigitando-se com as Formações Ponta do Mel e Quebradas. Foram individualizadas quatro (4) unidades (VASCONCELLOS *et al*, 1990), a partir da análise de perfis elétricos: A Unidade Açú 1, localizada na base da seqüência, compreendendo um ambiente fluvial, com deposição iniciada após a reativação da área fonte por um evento tectônico de idade albiana. A Unidade Açú 2, que foi depositada em um sistema fluvial entrelaçado que grada para meandrante grosseiro a fino em direção ao topo. A Unidade Açú 3, que ocorre em resposta a nova atividade tectônica ou ao rebaixamento do nível do mar, composta por rochas de origem fluvial entrelaçadas que gradam em direção ao topo para um sistema fluvial meandrante grosseiro. Com o término deste evento transgressivo, e a implementação de um sistema litorâneo-estuarino, ocorre a Unidade Açú 4, cuja localização é o topo de todas as unidades anteriores.

As **Figuras 4.2 a 4.4** apresentam o modelo lito-estrutural, bidimensional, da Formação Açú na área do projeto desenvolvido pela CPRM/UFRN/FINEP (2007b) em diferentes direções,

que segue o comportamento observado no mapa de isopacas, ou seja, as espessuras da Formação Açu aumentam de sul (a partir do cristalino), para norte (até o limite com os calcários da Formação Jandaíra). A configuração apresentada nas secções mostra a superfície do embasamento com relevo plano e ligeiramente inclinado sem ocorrência de ondulações topográficas ou ocorrências estruturais (falhas).

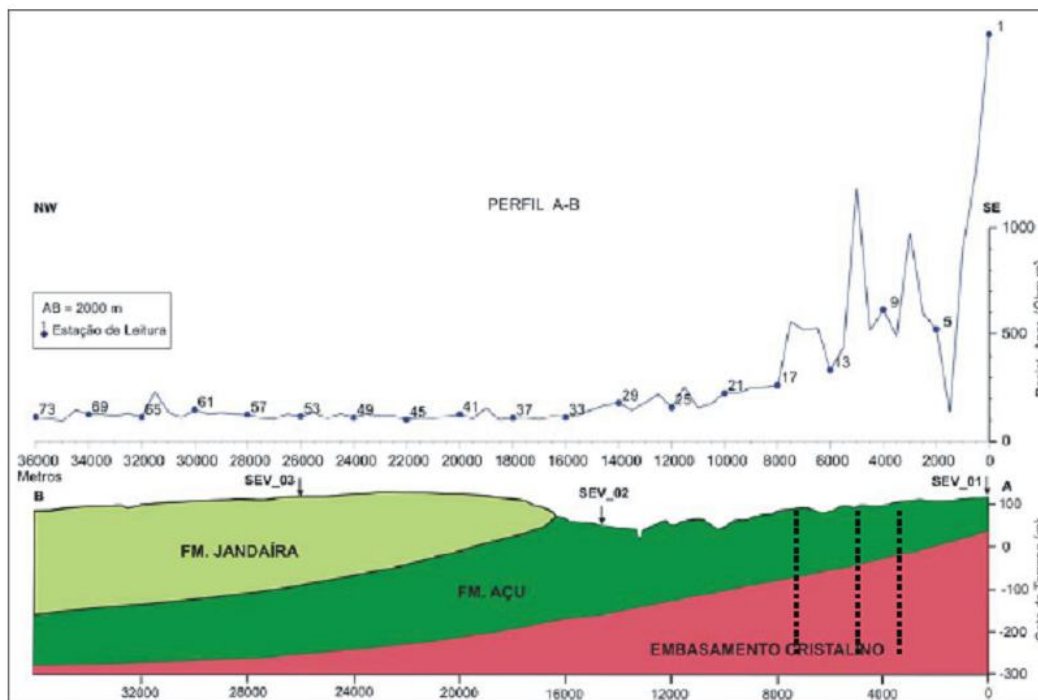


Figura 4.. Perfil de resistividade e uma possível seção geológica esquemática (CASTELO BRANCO, R. M., 2006 in CPRM/UFRN/FINEP, 2007a)

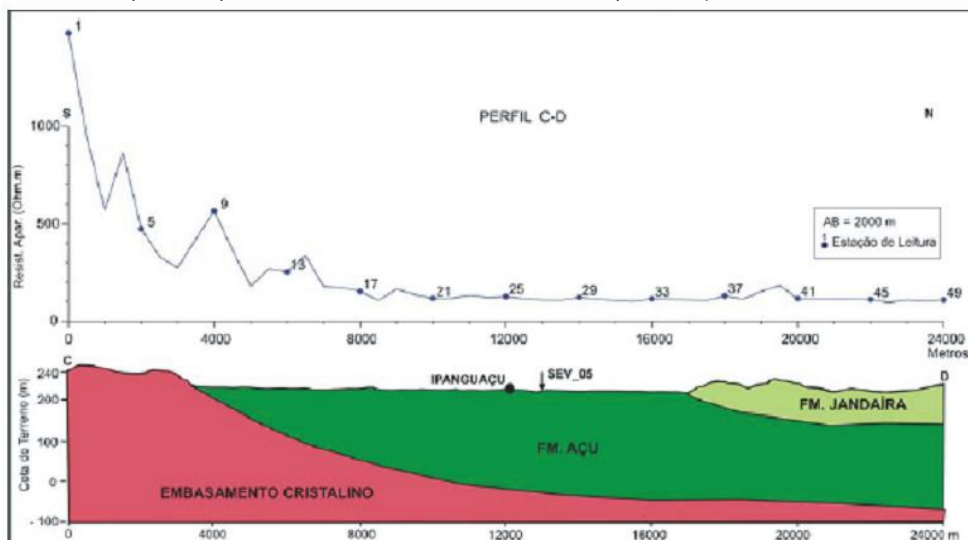


Figura 4.. Perfil de resistividade e uma possível seção geológica esquemática (CASTELO BRANCO, R.M., 2006 in CPRM/UFRN/FINEP, 2007a)

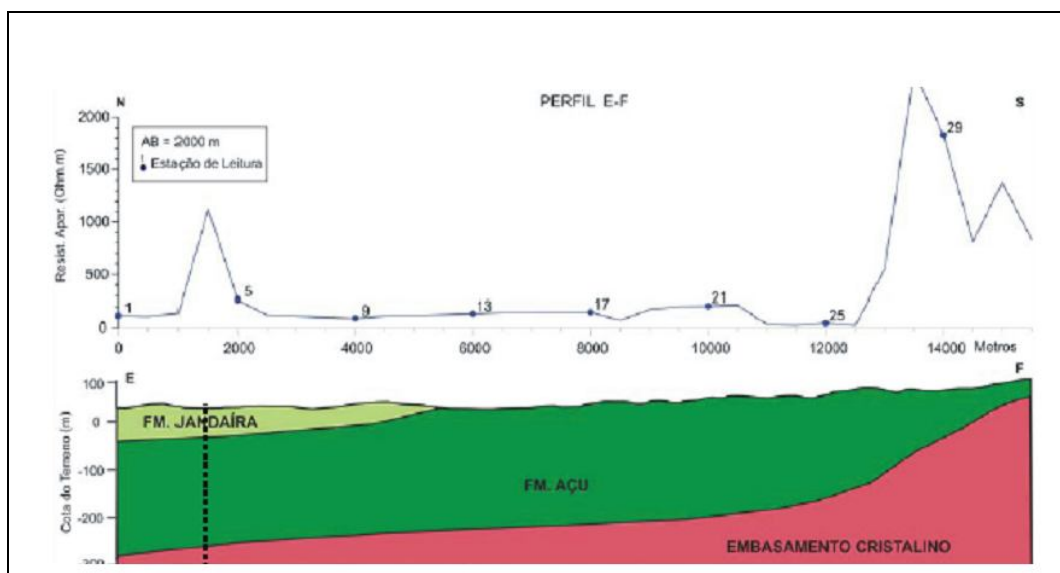


Figura 4.. Perfil de resistividade e uma possível seção geológica esquemática (CASTELO BRNCO, R.M., 2006 in CPRM/UFRN/FINEP, 2007a)

4.2.2.2. Formação Jandaíra

A Formação Jandaíra compreende calcarenitos com bioclastos de moluscos, algas verdes, briozoários e equinóides, também ocorrendo calcilitos com marcas de raízes, dismicrito e gretas de contração. Os calcários da Formação Jandaíra encontram-se sobrepostos aos arenitos da Formação Açu e, regionalmente, esta unidade compreende calcarenitos e calcilitos bioclásticos, os primeiros apresentando coloração creme a cinza, granulometria média a grosseira e apresentando-se bastante compactados.

O ambiente deposicional é descrito como uma planície de maré, laguna rasa, plataforma rasa e mar aberto. O contato inferior da Formação é concordante com a Formação Açu ou Quebradas, enquanto a porção superior mostra-se discordante com o Grupo Agulha. Ocorre uma interdigitação lateral com a parte superior da Formação Ubarana. O Grupo Agulha abrange as Formações Ubarana, Guamaré e Tibau, compreende rochas clásticas e carbonáticas de alta e baixa energias.

As espessuras das Formações Jandaíra e Açu são variáveis na Bacia Potiguar. A **Figura 4.5** apresenta as isópacas da Formação Jandaíra e observa-se que esta formação atinge em torno de 500m nas proximidades de Macau/RN, diminuindo para sudoeste onde atinge espessuras inferiores a 100m nas proximidades de Apodi/CE, denotando bordas da Bacia Potiguar.

A **Figura 4.5** mostra um perfil obtido através com geofísica por eletrorresistividade no Projeto da CPRM/UFRN/FINEP (2007a) onde se observa a disposição dos calcários Jandaíra (Formação Jandaíra) recobrendo os arenitos da Formação Açu, com diferentes espessuras e aumentando à medida em que grada para o centro da bacia.

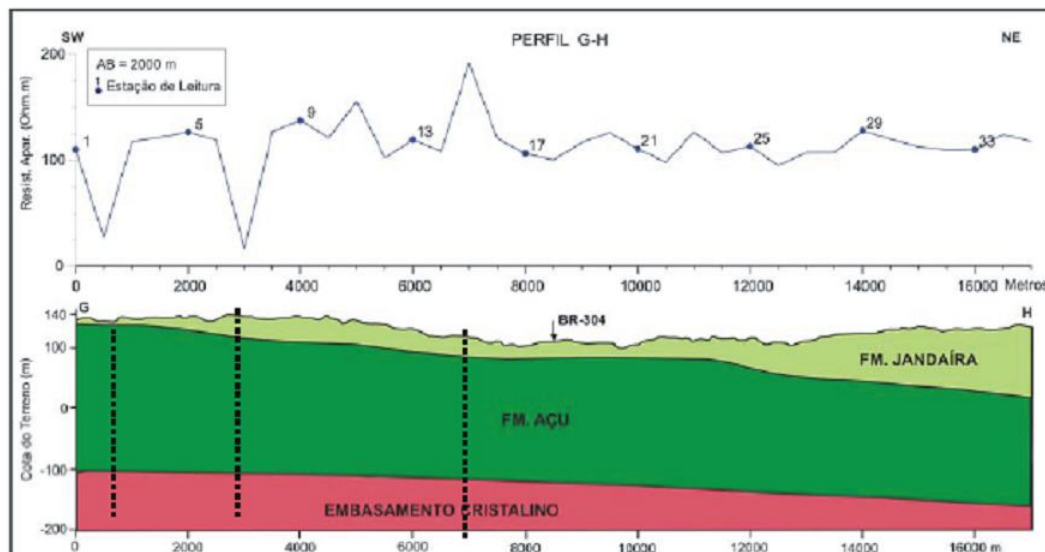
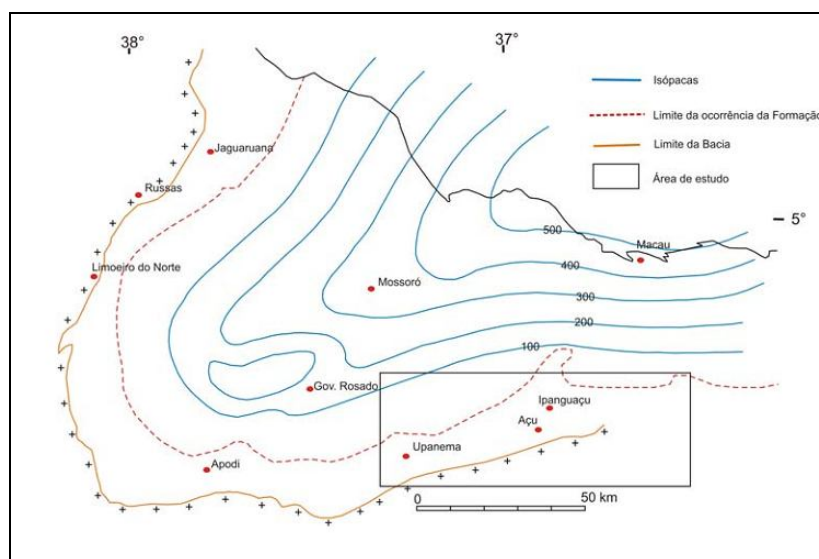


Figura 4.. Perfil de resistividade e uma possível seção geológica esquemática (CASTELO BRANCO, R.M., 2006 in CPRM/UFRN/FINEP, 2007a)

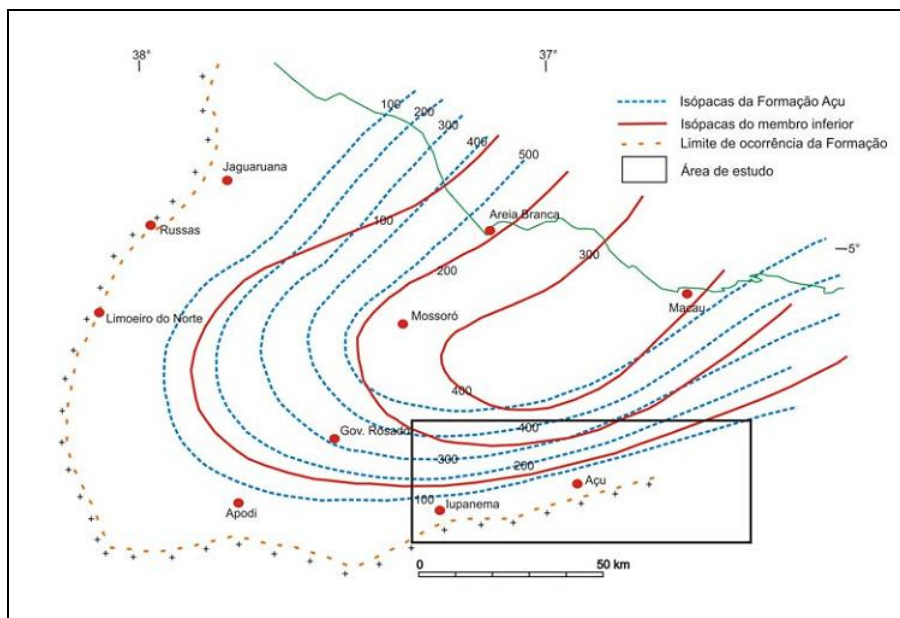
– Espessuras das Formações Jandaíra e Açú na Bacia Potiguar

A **Figura 4.6** mostra que as espessuras da Formação Jandaíra no âmbito da Bacia Potiguar oscila de poucos metros, borda de bacia, a centenas de metros, aumentando gradativamente para o centro, onde entre Mossoró e Macaú ocorre a maiores, com espessuras que oscilam de 300m a 500m. A **Figura 4.7**, representativa das espessuras da Formação Açú, mostra que as espessuras desta formação atingem 500m nas proximidades de Mossoró/RN e diminui do centro para SW e do centro para NE, com menores espessuras próximo a Limoeiro do Norte/CE, com valores em torno de 100m, reflexo das bordas da bacia geológica.



Fonte: SAMPAIO & SCHALLER (1968) *apud* VASCONCELOS, 2006.

Figura 4.. Isopacas da Formação Jandaíra na Bacia Potiguar

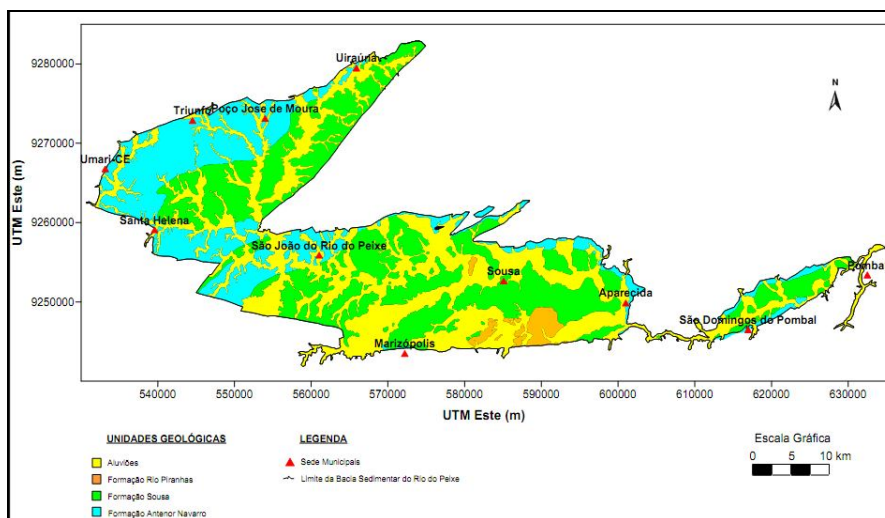


Fonte: SAMPAIO & SCHALLER (1968) *apud* VASCONCELOS, 2006.

Figura 4.. Isopacas da Formação Açu na Bacia Potiguar

4.2.3. Bacia do Rio do Peixe

Esta bacia é composta por três (3) sub-bacias: Brejo das Freiras (também conhecida como Triunfo-Uiraúna), Sousa e Pombal, originadas por afundamentos tectônicos, separadas por altos do embasamento, com aproximadamente 1.300 km². Megaestruturas brasileiras favoreceram o seu surgimento, a exemplo das Zonas de Cisalhamento de Portalegre e de Malta situadas ao longo de algumas de suas bordas, indicando uma reativação destas estruturas em regime tectônico frágil no fanerozóico. Compõem o Grupo Rio do Peixe (Cretáceo Inferior) as Formações Antenor Navarro (Inferior), Sousa (Intermediária) e Rio Piranhas (Superior). A **Figura 4.8** mostra o esboço geológico da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, resultante dos estudos de Rocha & Amaral (2007).



Fonte: Rocha & Amaral, 2007

Figura 4.. Esboço geológico da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe

A Bacia Sedimentar do Rio do Peixe está preenchida por sedimentos de origem de leques aluviais, fluvial e flúvio-lacustre. É composta pelas seguintes formações: Antenor Navarro (área aflorante de 529 km²), Sousa (área aflorante de 357 km²) e Rio Piranhas (área aflorante de 22 km²), todas Cretáceas. Na Bacia ocorrem extensos depósitos aluvionares (área de 819 km²), quaternários.

Ceballos et al. (2006) mostram que esta bacia é constituída por três formações sedimentares: Antenor Navarro (COSTA, 1964) composta de quase 100m de arenitos médios a grosseiros, de posição estratigráfica basal, repousando sobre o embasamento cristalino; Sousa (COSTA, 1964) constituída de argilitos, folhelhos e siltitos, com intercalações de arenitos finos a médios, totalizando cerca do 800m de espessura e, por fim, a Formação Rio Piranhas (ALBUQUERQUE, 1986) de arenitos médios e finos, com cerca de 200m de espessura, de ocorrência restrita à região ao sudeste de Sousa.

Feitosa (2006) (in CPRM/UFCEG/FINEP, 2007b) ressalta que o melhor conhecimento de subsuperfície da Bacia do Rio do peixe provém do poço estratigráfico da Lagoa do Forno, locado a 7,5 km a sudeste de Sousa, mostrando o seguinte perfil (MME/DNPM, 1970):

- **Unidade C**, perfurada até 103,95m: Arenitos amarelos e róseos, médios e grosseiros, feldspáticos, às vezes calcíferos, com intercalações silticas e argilosas roxas. Essa unidade é atualmente conhecida como Formação Rio Piranhas.
- **Unidade B**, separada em dois membros. Uma característica impar dessa unidade, em ambos os membros, é o caráter carbonático que vêm sendo usado pela CPRM como critério de campo para fins de mapeamento. Atualmente é denominada de Formação Sousa e os dois membros dessa Formação: a) Membro superior, perfurado entre 103,95 e 240,35 m (136,40m): Siltitos e folhelhos roxos e cinzentos, micáceos, calcíferos, com intercalações de finos leitos de arenitos de cores variegadas, finos a médios, geralmente calcíferos. Pela grande incidência de siltitos, esse membro tem caráter mais clástico que o membro inferior, sendo essa sua feição distintiva; b) Membro Inferior, perfurado entre 240,35 e 903,70 metros (663,35m): Folhelhos silticos e siltitos, roxos, micáceos, às vezes cinzentos, todos calcíferos. Pela grande incidência de folhelhos, esse membro tem caráter mais pelítico que o membro superior, sendo essa a feição que o distingue. Na direção da base o membro torna-se predominantemente argiloso, mostrando uma seqüência de folhelhos roxos e cinzentos, sendo estes últimos piritosos. Ocorrem ainda finas lâminas de calcários impuros e lamitos com gretas de "dissecação", nas cores cinza e verde.
- **Unidade A**, perfurada entre 903,70 e 989,9m (86,20m): Arenitos finos, feldspáticos, de cores claras, localmente com cimento silicoso pobre e arcósios de granulação média a grossa, com cimento argiloso escasso. Atualmente é conhecida como Formação Antenor Navarro. O autor diz que esses arenitos podem ser mais espessos em outras áreas da bacia.

Para compreender o arcabouço tectônico da bacia, Françaolin,1992 (*apud* CPRM/UFCEG/FINEP, 2007b) realizou estudo por gravimetria que indicaram espessuras do pacote sedimentar superiores a 2000 metros na Sub-Bacia Brejo das Freiras e mais de 1500 metros na Sub-Bacia de Sousa.

O perfil regional ilustrado na **Figura 4.9** mostra os principais aspectos estruturais tectônicos da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe, onde se observa que entre Aparecida, no limite leste da Sub-bacia Sousa, e o povoado de Melancias, e daí para norte, até a cidade de Triunfo, o

substrato cristalino da bacia sobe gradativamente. Esse alçamento do substrato se dá em linhas gerais de sudeste para noroeste, tendo ocorrido em reativação tectônica relativamente recente, que deixou nítido registro na topografia da superfície da bacia. O alçamento do embasamento da bacia não se dá de maneira uniforme. Dá-se, antes, em sucessivos degraus ascendentes entremeados de blocos rebaixados cujos assoalhos são também sucessivamente ascendentes. Constituem, assim, degraus ascendentes, o chamado Degrau de Transição, o Alto de Antenor Navarro, o próprio Alto de Santa Helena e o Alto de Tabuleiro Grande. Os baixos de Santa Rita, Pilões e Cacimba Nova, intercalados entre esses degraus, constituem oscilações do topo do substrato cristalino em sua subida na direção do limite oeste da Sub-bacia Triunfo.

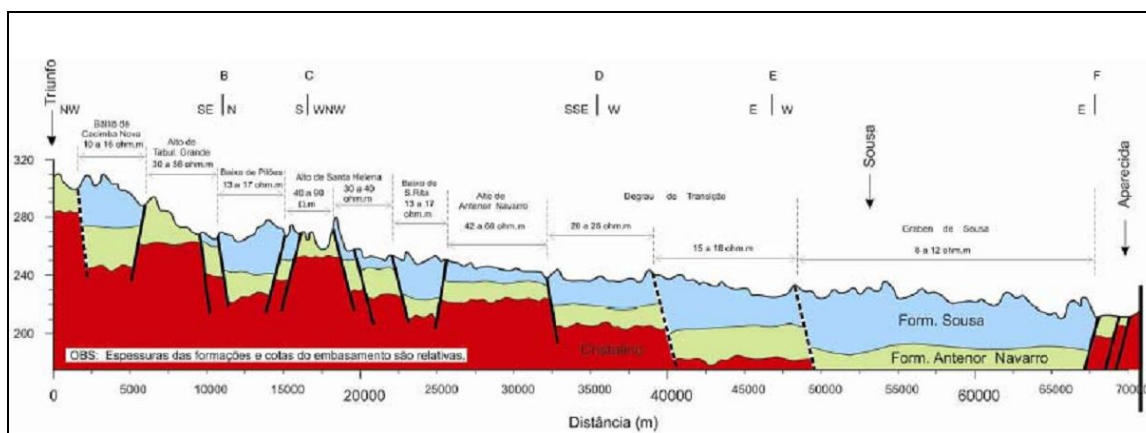


Figura 4.. Perfil topográfico e geológico (Fonte: CPRM/UFCEG/FINEP, 2007b)

4.2.4. Coberturas e Aluviões

Na Bacia Potiguar tem-se a presença das Coberturas Clásticas denominadas de Paleocascalheiras. Estes depósitos ocorrem em áreas extensas próximas a aluvião do rio Piranhas-Açu, sempre em contato com o embasamento cristalino, e representam depósitos de seixos de quartzo subarredondados, inconsolidados de tamanhos variados. Muniz (1986), em estudos realizados entre os municípios de Upanema e Assu, observou que a deposição destes seixos está embutida em falhamentos, onde os seixos encontram-se associados a uma matriz argilo-arenosa de coloração escura, pouco compacta, formando uma extensa cobertura em forma de terraço sobre o embasamento cristalino.

Os Depósitos Aluvionares na Bacia Potiguar são representados por sedimentos finos a grosseiros, inconsolidados, moderadamente a pobremente selecionados e de coloração esbranquiçada a amarronzada, ou acinzentada, formando extensas áreas de planícies aluviais em relevo plano, com destaque para as Aluviões do Rio Açu. Rocha Filho (1992) caracterizou os depósitos de canal do rio Açu como constituídos por grãos subangulosos e subarredondados, parcialmente polidos e de média esfericidade, transportados predominantemente por saltação, de fontes próximas e de origem ígnea, e que o mesmo segue lineamentos cenozóicos de direções N-S e NE. Segundo Gauw (2004), a Planície de Inundação do rio Açu é composta predominantemente por sedimentos siltico-argilosos de coloração marrom-avermelhada, apresentando estruturas sedimentares do tipo laminação plano-paralela, gretas de contração e marcas de raízes. No canal fluvial são encontrados sedimentos arenocascalhosos, com estratificações cruzadas acanaladas relacionadas a migração de formas de leitos de crista sinuosa.

Na Bacia do Rio do Peixe, observa-se uma abrangente cobertura cenozóica na região da Bacia do Rio do Peixe, representada pelos depósitos aluvionares que se distribuem ao longo dos principais rios, tais como os rios Piranhas e Peixe e seus principais afluentes (Figura 31). São constituídos por sedimentos arenosos, conglomeráticos, bem como, localmente, por porções argilosas.

As Coberturas Detrítica-Lateríticas desenvolveram-se sobre todas as unidades geológicas pré-cambrianas, sendo, entretanto, mais comum nos terrenos das rochas do Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu. Constituem solos areno-argilosos avermelhados, semiconsolidados, mal classificados, com espessura superior a 10m, que se apresentam parcialmente laterizados. Esses terrenos são identificados por superfícies aplainadas e peneplanizadas, que formam as extensas chapadas e chapadões (CPRM/UFCG/FINEP, 2007b).

As condições topográficas representadas pelos topos aplainados, vertentes alongadas e vales fluviais pouco profundos, proporcionam estágios diferentes de escoamento. Nos topos aplainados, predomina a percolação, resultando em solos mais lixiviados, bem drenados e profundos (Latosolos). Nas vertentes, o escoamento superficial pode ser intensificado durante a estação chuvosa, carreando areias e sedimentos finos que vão se depositar nos vales. Entretanto, o escoamento superficial é atenuado pela presença de formações porosas e permeáveis e, também, pela baixa declividade das vertentes.

4.2.5. Barreiras

Os sedimentos do Barreiras estão distribuídos ao longo da faixa costeira sobre os calcários da Formação Jandaíra e se caracterizam por formarem um pacote sedimentar essencialmente clásticos argilo-silto-arenoso, onde ocorrem esporadicamente níveis lateríticos e, na base, níveis conglomeráticos. Suas águas subterrâneas estão armazenadas nos níveis arenosos e sílto-arenosos, que se comportam como um aquífero livre, embora, localmente, os níveis argilosos, impermeáveis, imprimam características de aquíferos confinados a semi-confinados. Suas espessuras médias oscilam em torno de 10 a 40 metros, podendo em certos locais atingir 100 metros. Inúmeras vezes seus níveis mais síltico-argilosos imprimem características de aquitardes e a descontinuidade e a reduzida área de ocorrência de alguns afloramentos isolados – mantos residuais de pequena espessura – impedem, localmente, a formação de aquíferos. A profundidade dos níveis estáticos varia, em média, entre 8 e 15 metros nos poços manuais que só captam o aquífero freático, decrescendo em direção aos vales e lagoas, onde, frequentemente, situam-se entre 1 e 4 metros. O Aquífero Barreiras representa, na prática, a parte superior da sequência cretácea da Bacia Potiguar, havendo uma franca comunicação hidráulica entre ambos, formando, assim, um único sistema aquífero (LIMA *et. al.*, 2006).

4.2.6. Serra dos Martins

Formação Serra do Martins constitui a sequência inferior, composta por fácies arenosa a conglomerática, com sedimentos altamente ferruginosos e silicificados sugerindo uma forte diagênese.

4.3. As Águas Subterrâneas

4.3.1. Considerações Gerais

Torna-se mister ressaltar que, neste trabalho, será adotada a classificação hidrogeológica por domínios, em função direta e explícita da ausência de dados hidrogeológicos seguros e perfis técnico-construtivos e litológicos dos poços na Bacia Piranhas-Açu. A designação de Domínios Hidrogeológicos Poroso (Porosidade Primária), Cárstico (Porosidade Secundária) e Fraturado (Porosidade secundária, designado genericamente, também, como Fissural) é, nesse caso, admissível, ainda mais por apresentar a configuração geral das águas subterrâneas e obras de captação, permitindo ao gestor o conhecimento maior da situação deste recurso no âmbito da Bacia.

A designação de Sistemas Hidrogeológicos, apesar de também ser amplo, envolve o conhecimento de entrada (recarga) e saída (exutório) do sistema hídrico, além de exigir dados hidrogeológicos característicos para as diferentes classificações (Aquíferos, aquítares, aquífugos).

A CPRM/UFRN/FINEP (2007a) desenvolveu um projeto no trecho localizado entre Upanema – Afonso Bezerra, Bacia Potiguar e caracterizou hidrogeologicamente os aquíferos ali existentes, com destaque principal para o Açu.

O Aquífero Açu corresponde à porção inferior, essencialmente arenosa da formação e constitui a unidade hidrogeológica mais importante da Bacia Potiguar, ocorrendo em uma faixa de espessura média de 150m na área de afloramento, que acompanha a borda da Bacia Potiguar.

Ele é livre na área aflorante, apresentando vazão média de 10 m³/h. Em condições de confinamento ou semi-confinamento, as vazões chegam a atingir 200 m³/h. As águas em geral são de boa qualidade permitindo uso para consumo humano, animal e industrial (CPRM, 2012)

O cadastro do Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte (CPRM, 2005) contém dados de 7.975 poços, que compõem o arquivo digital deste relatório.

A **Tabela 4.1** apresenta uma síntese dos resultados do cadastramento dos poços construídos na área compreendida entre Upanema – Afonso Bezerra, Bacia Potiguar (CPRM/UFRN/FINEP, 2007a), para captar águas dos aquíferos Açu (269 poços), Jandaíra (06 poços), Aluvionar/Açu (86 poços) e Fraturado (7 poços), onde são mostrados dados de profundidade dos poços, nível estático, vazão, capacidade específica e Sólidos Totais Dissolvidos - STD no âmbito de cada unidade hidrogeológica.

É importante ressaltar que para o Aquífero Jandaíra não existem dados de poços, com exceção da profundidade dos mesmos. Porém, é importante ressaltar que neste aquífero, heterogêneo e anisotrópico, poços tubulares na Chapada do Apodi/CE-RN exploram vazões de até 200 m³/h.

Tabela 4.. Síntese dos resultados do cadastramento de poços Trecho Upanema – Afonso Bezerra, Bacia Potiguar.

Sistema /Parâmetros	Aqüífero	Média	Valor Mínimo	Valor Máximo	N
Embasamento – Prof (m)		42,8	18,0	71,0	7
.....NE (m)		12,2	6,0	19,0	6
.....Q (m ³ /h)		3,0	0,3	5,5	5
.....Q/s (m ³ /h/m)		0,5	0,02	1,6	4
.....STD(mg/L)		1771,0	317,2	2870,0	8
Açu - Prof (m)		44,9	15,0	148,0	269
.....NE (m)		25,7	4,0	138,0	156
.....Q (m ³ /h)		10,2	0,3	60,0	139
.....Q/s (m ³ /h/m)		2,8	0,08	23,2	57
.....STD (mg/L)		764,7	109,7	4712,5	201
Jandaíra – Prof (m)		110,0	80,0	120,0	6
Aluviões/Açu- Prof (m)		68,2	5,1	192,0	86
.....NE (m)		14,3	4,6	42,0	29
.....Q (m ³ /h)		12,7	1,5	50,0	15
.....Q/s (m ³ /h/m)		6,3	0,04	81,9	13
.....STD (mg/L)		703,6,0	106,0	2717,0	24

Fonte: CPRM/UFRN/FINEP, 2007a

LEGENDA: Prof. – Profundidade; NE – Nível estático; Q – Vazão; Q/s – Capacidade específica; STD – Sólidos Totais Dissolvidos; N – Número de dados

Segundo a CPRM/UFRN/FINEP (2007a), as vazões dos poços no Jandaíra oscilam de 1 a 11 m³/h, média de 6 m³/h; o nível estático oscila de 10 a 59m, média de 33m, e os Sólidos Totais Dissolvidos - STD possuem mínimo de 1.048 mg/L e máximo de 4.397 mg/L, com média de 2.142 mg/L.

4.3.2. Domínios Hidrogeológicos

A Bacia Piranhas - Açú é representada predominantemente pelo embasamento cristalino, formado por rochas com pequena capacidade de armazenamento de água, frequentemente de qualidade inferior em relação a presença de sais, e pelas formações sedimentares com maiores porosidades e permeabilidades e, portanto, maiores capacidades de armazenamento e transmissão de água, representadas pelas Aluviões, Açú, Jandaíra, Barreiras, Coberturas detrítico-lateríticas, Depósitos litorâneos, Rio do Peixe e Serra dos Martins.

Aluviões são sedimentos argilosos, areno-argilosos, areias quartzosas e quartzofeldspáticas, níveis conglomeráticos ou cascalhos e argilas orgânicas, Constituem aquíferos rasos e livres.

Depósitos litorâneos são areias de granulação finas a médias, siltsosas, quartzosas ou quartzofeldspáticas, com bom grau de arredondamento e esfericidade, de tonalidades cinza-claras e alaranjadas no topo e avermelhadas na base.

Coberturas detrítico-lateríticas composto predominantemente por sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos, de tons alaranjado, avermelhado e amarelado.

Barreiras representados por arenitos argilosos de tonalidade variegada (amarelada, avermelhada e esverdeada), matriz argilo-caulínica, com cimento argiloso, as vezes ferruginoso ou silicoso; granulação fina a média, com níveis lateríticos e leitos conglomeráticos na base. Espessuras médias de 10 a 40m, nível estático variando de 8 a 15m e vazão média de 5m /h. Na maioria das vezes representam aquíferos livres.

Serra dos Martins são arenitos médios a conglomeráticos, assentados discordantemente sobre o embasamento cristalino. Jandaíra: calcários esbranquiçados, homogêneos e com intercalações de níveis argilosos e sílticos. Profundidade de 80 a 120m (média de 110m) e vazão média de 5,4m /h. Meio anisotrópico e heterogêneo, onde as águas subterrâneas se armazenam no sistema cárstico (Porosidade secundária por dissolução e/ou fraturamento).

Açu são caracterizados por arenitos predominantemente acinzentados, de granulação fina a média, interestratificados com siltitos cinzentos, calcíferos, ou não, e folhelhos cinza-escuros. Aflorante ou a profundidades de 15 a 148 m (média de 44,9m), nível estático médio de 25,7m e vazão média de 10,2m /h. Meio hidrogeológico anisotrópico e heterogêneo.

Rio do Peixe representam as rochas sedimentares clásticas areníticas, grosseiras, coloração amarelada, conglomeráticas, com estratificação cruzada; arenitos finos a médios, vermelhos. Aflorante ou a diferentes profundidades, com média de 31,79 m e nível estático de 1 a 17m (média de 1,55m).

Cristalino é composto por litotipos ígneos e metamórficos, onde a água subterrânea se armazena em fraturas; os poços possuem profundidades de 18 a 71m (média de 42,8m); vazão média de 2,5 m /h e nível estático de 6 a 19m (média de 12,2m). Meio hidrogeológico anisotrópico e heterogêneo.

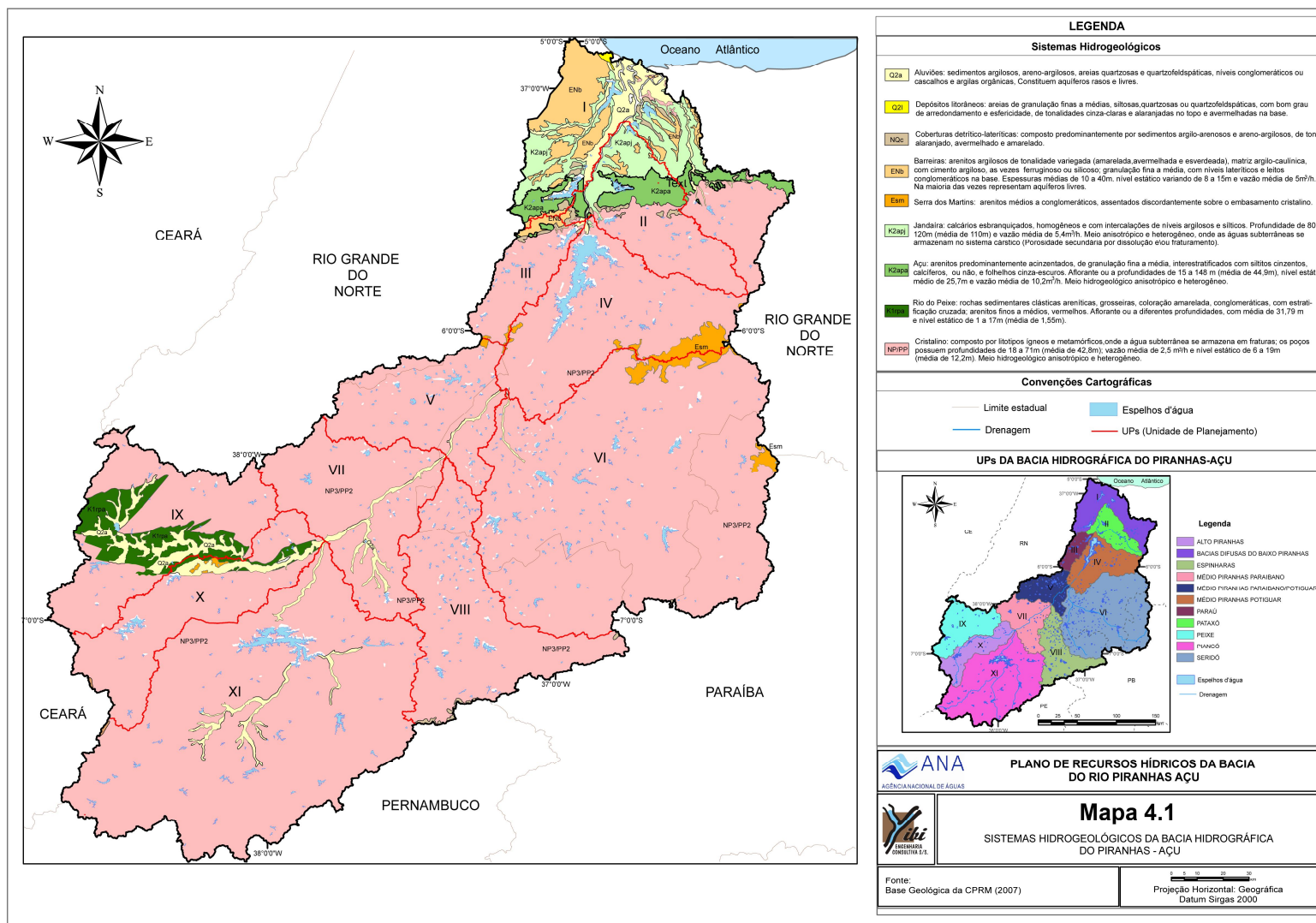
Observa-se que o *Domínio Hidrogeológico Fraturado* predomina com 37.577 km² (86%) sobre o Poroso (4.908,7 km² (11%) e o *Cárstico* (1.195,7 km² (3%)), que totalizam 43.681,4 km² (Bacia Piranhas – Açu) (Tabela 4.2 e Mapa 4.1).

Tabela 4.. Área dos domínios hidrogeológicos da Bacia Piranhas – Açu

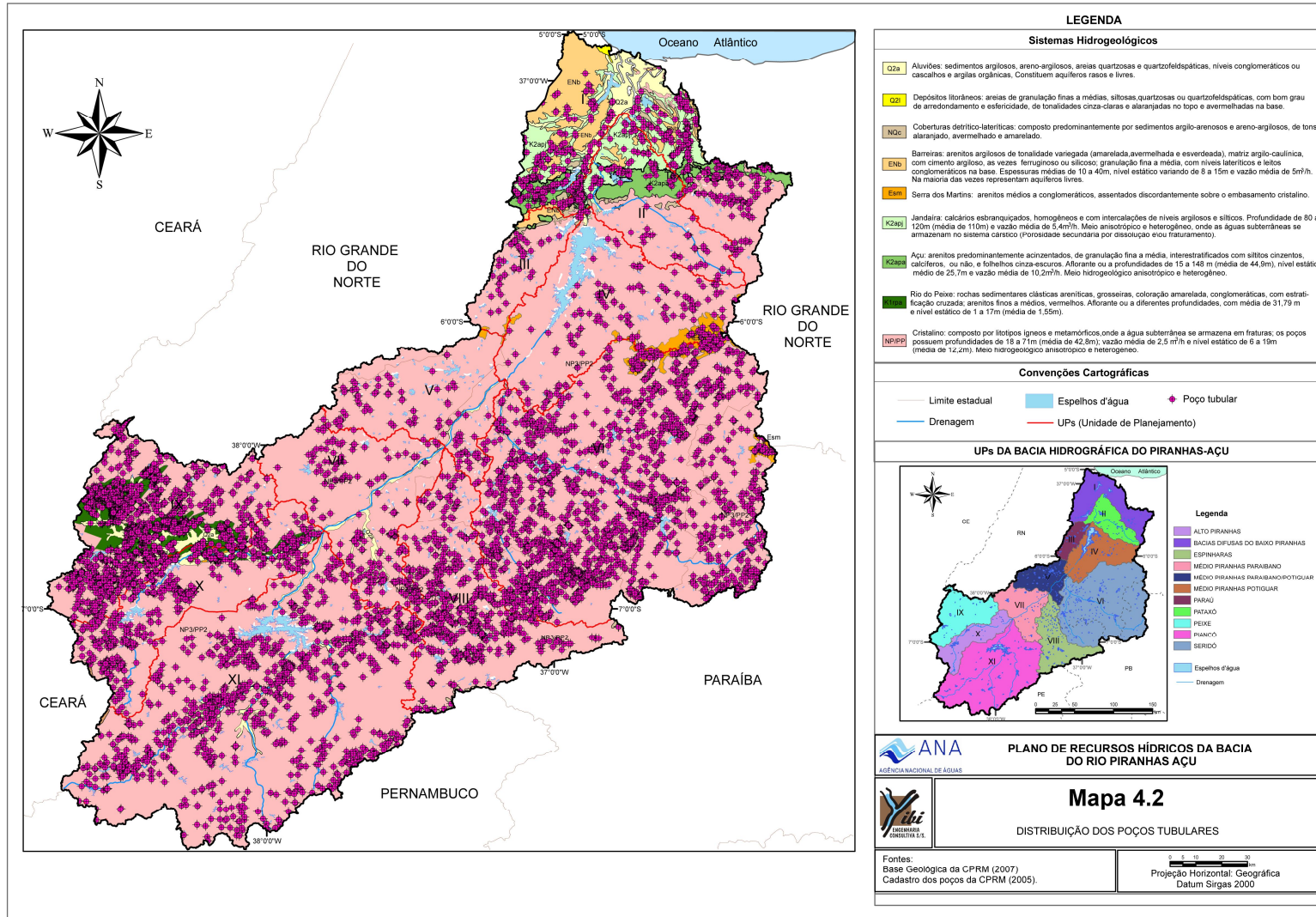
Domínio Hidrogeológico	Área (km²)	%
Poroso	4908,69	11
Cárstico	1195,69	3
Fraturado	37577	86
Total	43681,4	100

O arquivo de poços contém dados de 7.975 poços (CPRM, 2005), plotados sobre a base dos domínios hidrogeológicos e individualizados em poços tubulares/fontes naturais e poços manuais (escavados) (Mapa 17 e 18) e estão contidos em arquivo digital componente deste relatório.

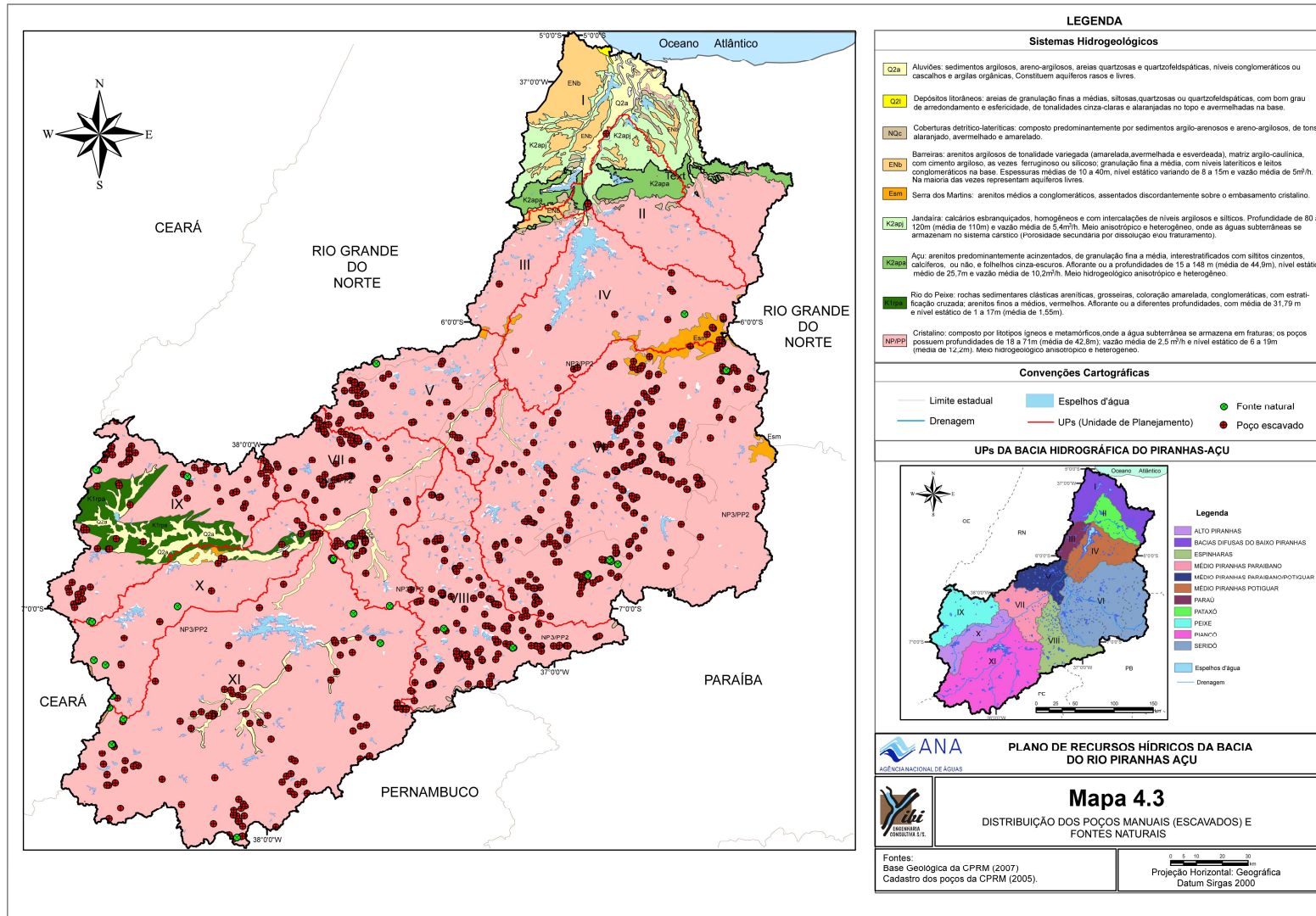
Mapa 4.. Domínios Hidrogeológicos da Bacia Hidrográfica do Piranhas – Açú



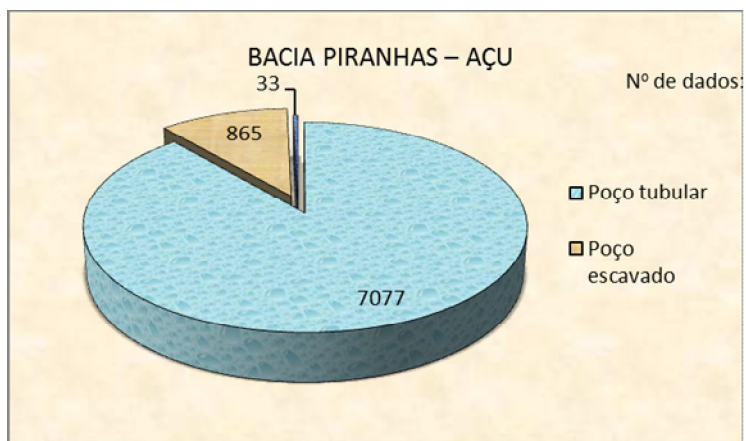
Mapa 4.. Distribuição dos Poços Tubulares na Bacia Piranhas - Açú



Mapa 4.. Distribuição dos Poços Manuais (Escavados) e Fontes Naturais na Bacia Piranhas - Açú

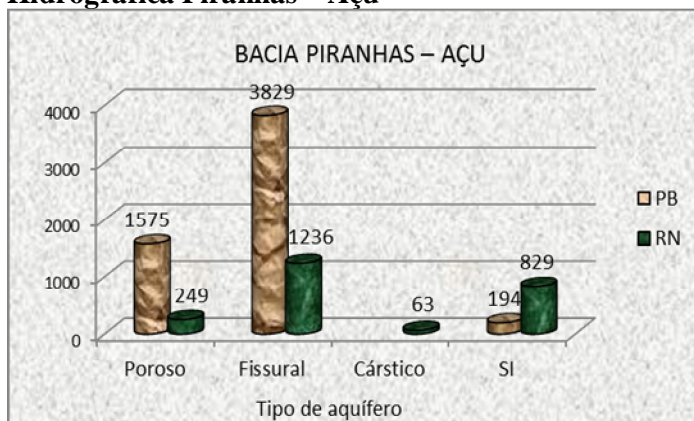


Observa-se que dos pontos de água existentes no Piranhas – Açu, os poços tubulares predominam com 88,73% (7.077), ressaltando o emprego destas obras na captação das águas subterrâneas (**Figura 4.10**). A distribuição dos poços por domínio hidrogeológico Poroso, Cárstico e Fraturado (Fissural) mostra a predominância das obras no Domínio Hidrogeológico Fissural, reflexo direto da predominância do mesmo em termos de área na bacia (**Figura 4.11**).



Fonte de dados: CPRM, 2005

Figura 4.. Distribuição dos pontos de água cadastrados pela CPRM para a Bacia Hidrográfica Piranhas – Açu



Fonte de dados: CPRM, 2005

Figura 4.. Distribuição dos poços nos domínios hidrogeológicos da Bacia Piranhas – Açu

Deve ser ressaltado que o cadastro de poços do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS da CPRM (2005) coloca os poços por domínios Poroso, Cárstico e Fissural e não por sistema aquífero.

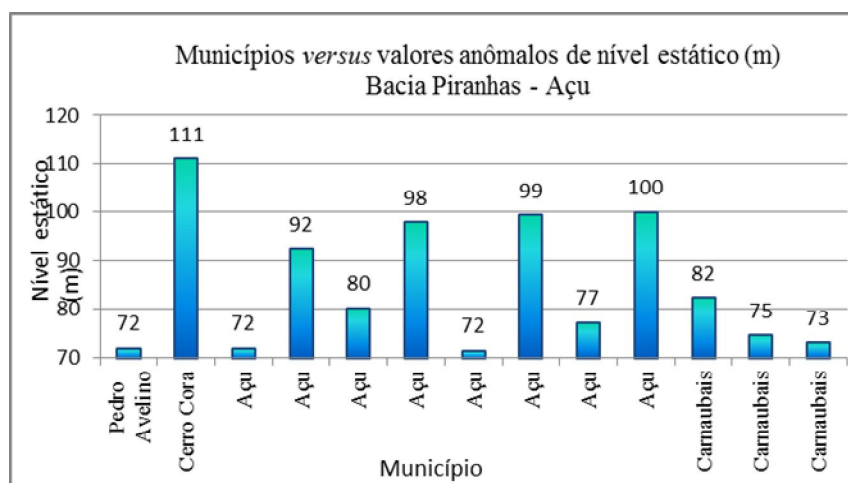
Porém, entende-se que o Domínio Hidrogeológico Poroso pode, tecnicamente, englobar o meio clástico (Porosidade primária), cárstico (Porosidade secundária por dissolução, fraturamento ou fraturamento/dissolução) e cristalino (Porosidade secundária por fraturamento), todos, logicamente, possuindo porosidade (Porosidade – capacidade de um corpo armazenar fluido, no caso específico, água). Mas, preservando a classificação solicitada pela Agência Nacional de Águas – ANA, optou-se por se utilizar as designações de Domínios Hidrogeológicos Poroso, Cárstico e Fraturado.

Em função da pequena área de ocorrência do domínio poroso e cárstico na Bacia do Piranhas – Açu, assim como da presença diminuta de dados que possam caracterizar amplamente estes domínios, optou-se por se trabalhar, em um só item, os três (3) domínios (Poroso, Cárstico e Fraturado) individualizando-os nos gráficos e no decorrer dos parágrafos.

A profundidade onde se encontra água subterrânea, a partir da superfície do terreno, é denominada de posicionamento do nível estático. Ela deve ser medida para cada aquífero e quando um poço capta água de mais de um aquífero, pode ocorrer interferência deste posicionamento, particularmente quando se trabalha com meios confinados. Sem dados de perfis técnico-constitutivos e perfis litológicos, muito usual quando os dados pertencem a poços construídos para usuários comuns e sem fiscalização da obra, o nível estático encontrado no poço dá um posicionamento geral da profundidade da água subterrânea local para aquela obra de captação.

Os dados trabalhados mostram um nível estático (2.742 medidas) predominantemente freático (raso, considerado como aqueles que se encontram até 20,0m de profundidade), com 83,15% deles situados a até 15,0m de profundidade, seguidos de 12,61% localizados entre 15,1 e 30,0m (**Mapa 4.4**).

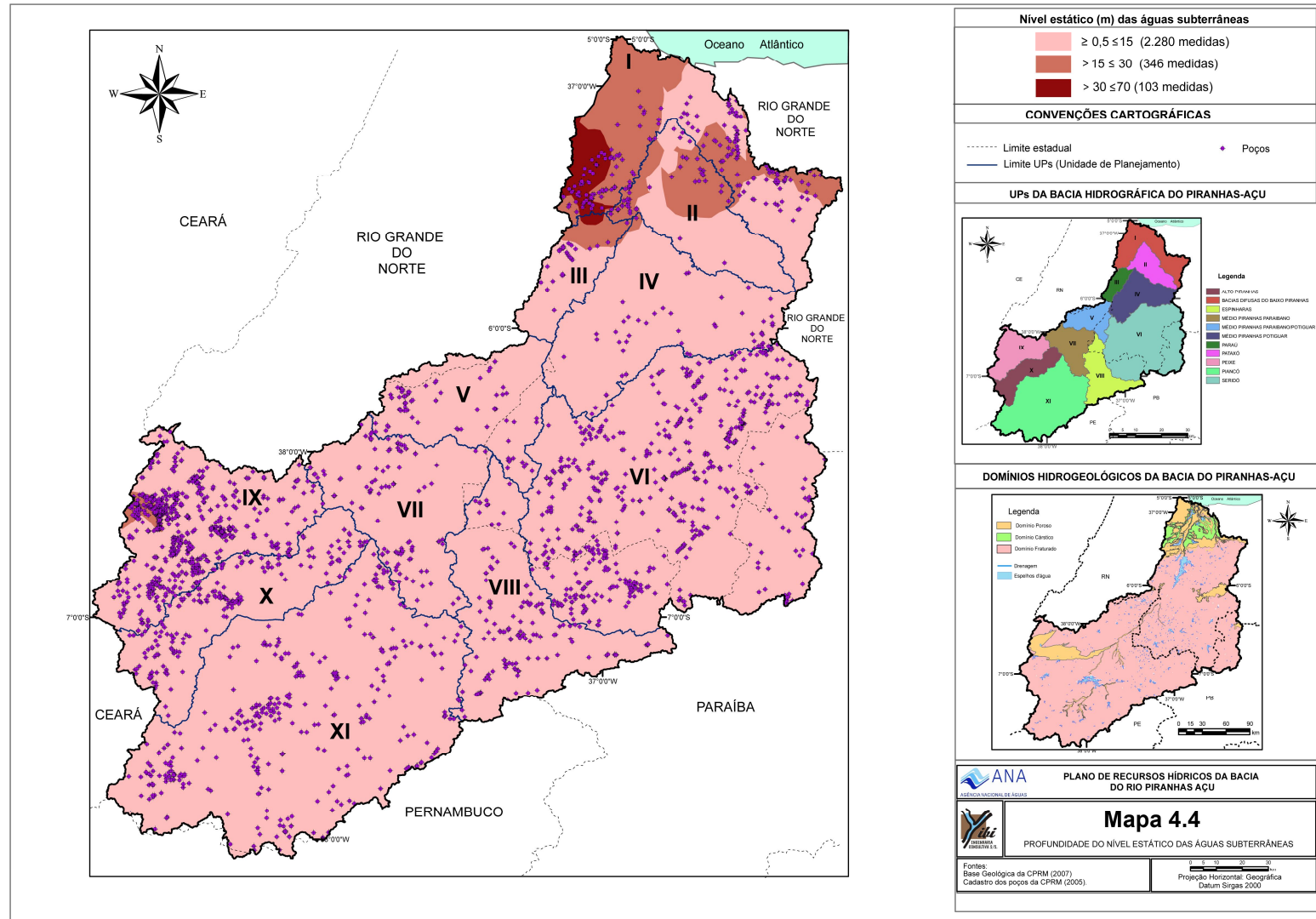
Na construção do mapa de zoneamento, optou-se por se isolar treze (13) valores considerados anômalos, acima de 70m e atingindo 111m de profundidade (**Figura 4.12**), a fim de não se influenciar no zoneamento. Normalmente os primeiros posicionamentos, até 15,0m, refletem aquíferos do tipo livre e com elevada vulnerabilidade a poluição antrópica, particularmente quando se localizam em meio urbano ou zona costeira, e ocorrem quase que totalmente no âmbito do Domínio Hidrogeológico Fraturado. O nível estático acima dos 15,0m e até 30,0m ocorre ao norte da Piranhas – Açu predominando no Alto Piranhas onde, também, estão localizados a maior parte dos depósitos sedimentares e aqueles acima de 30,0m que devem refletir condições de aquíferos mais profundos ou de poços que captam água em zonas topograficamente mais elevadas, particularmente aqueles com profundidades acima dos 70m.



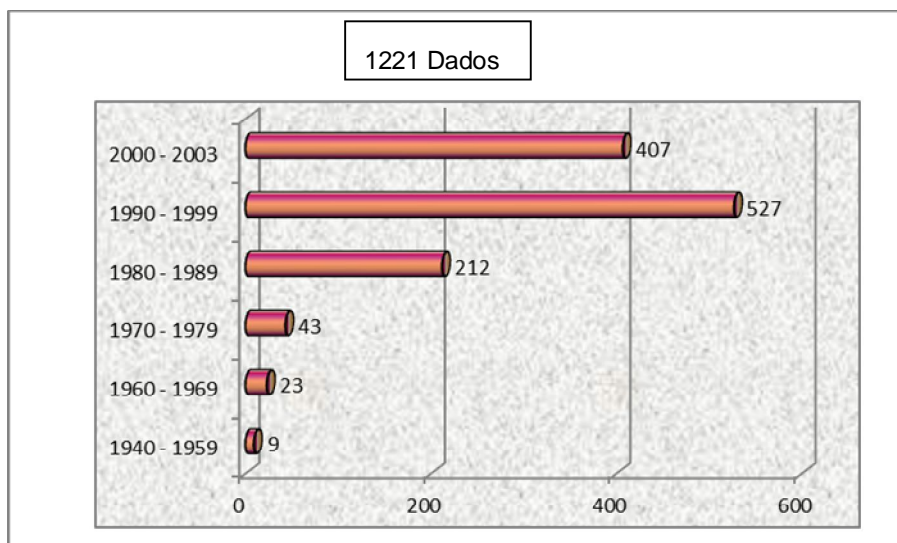
Fonte de dados: CPRM, 2005

Figura 4.. Valores considerados anômalos da profundidade do nível estático – Bacia Piranhas - Açu

Mapa 4.4 - Profundidade do Nível estático das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Piranhas - Açú

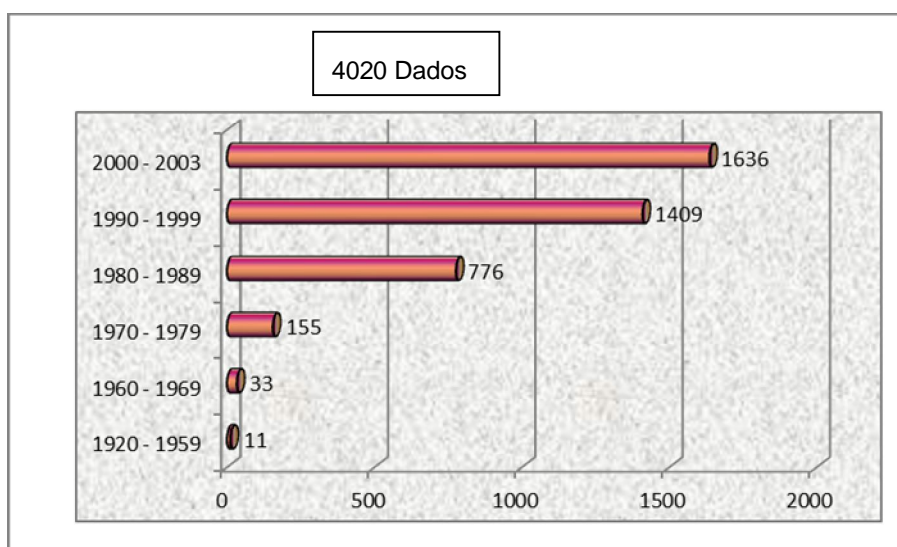


As **Figuras 4.13** e **4.14** mostram a evolução da construção de poços no âmbito da Bacia Piranhas – Açu nos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, definindo-se claramente a prática de captação de água subterrânea na evolução temporal, reflexo da procura maior pelos particulares e/ou implantação maior de projetos governamentais no âmbito das águas subterrâneas.



Fonte de dados: CPRM, 2005

Figura 4.. Evolução da construção de poços na Bacia Piranhas – Açu (RN)



Fonte de dados: CPRM, 2005

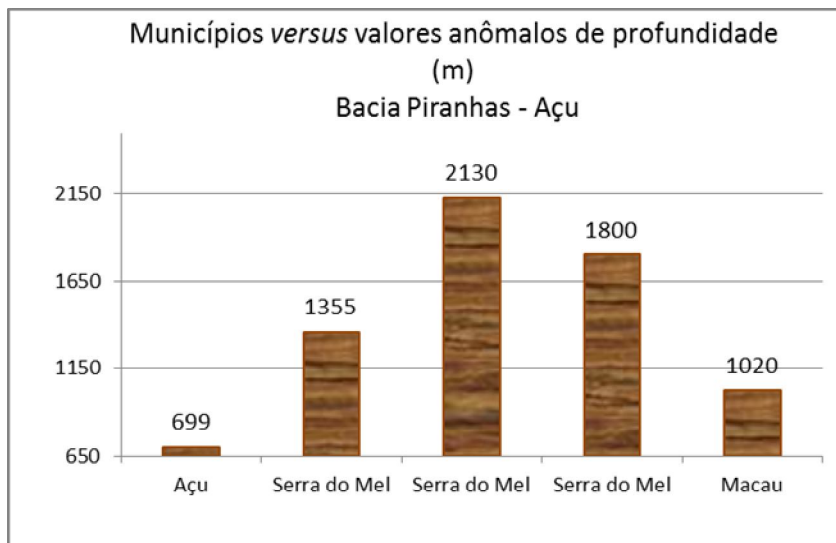
Figura 4.. Evolução da construção de poços na Bacia Piranhas – Açu (PB)

Da análise de 4.239 dados referentes a profundidades dos poços na Bacia Piranhas – Açu, observa-se que elas oscilam de poucos metros até 2.130m, predominando aquelas maiores que 20m e menores que 50m (60,58%) refletindo poços tubulares localizados no Domínio Hidrogeológico Fraturado, acompanhadas por poços com profundidades até 20m (20,85%) geralmente construídos em manchas aluvionares e sedimentos costeiros recentes ou, ainda,

associadas as profundidades dos poços manuais (escavados, cacimbas). Os poços com maiores profundidades, inclusive àqueles entre 300m e 2.130m (0,14%), estão localizados no extremo norte da Piranhas – Açú, área do Alto Piranhas, conforme reflete o **Mapa 4.5**. No zoneamento optou-se por isolar os valores anômalos (5) situados acima de 500m de profundidade a fim de não se interferir no tratamento dos dados (**Figura 4.15**), poucos mas importantes e que refletem profundidades incomuns de poços para a área trabalhada.

A vazão do poço reflete o volume de água captado em um determinado tempo, sob condições específicas de um equipamento de bombeamento. Apesar da existência de 7.975 poços cadastrados, somente 122 (1,52%) deles possuem dados de vazão e que refletem uma predominância daquela inferiores a 1,0 m³/h (26,2%), seguidas do intervalo entre 2,0 e 4,7 m³/h (22,9%). Normalmente estas vazões mais elevadas são correlacionáveis ao Domínio Sedimentar Poroso, onde os aquíferos possuem porosidade efetiva e permeabilidade intergranulares e primárias, permitindo bom armazenamento e fluxo hídrico subterrâneo. Apesar da presença de termos sedimentares que, regionalmente, são excelente aquíferos, a exemplo do Aquífero Açú, não existem dados para a Bacia do Piranhas – Açú que mostrem este comportamento (**Mapa 4.6**).

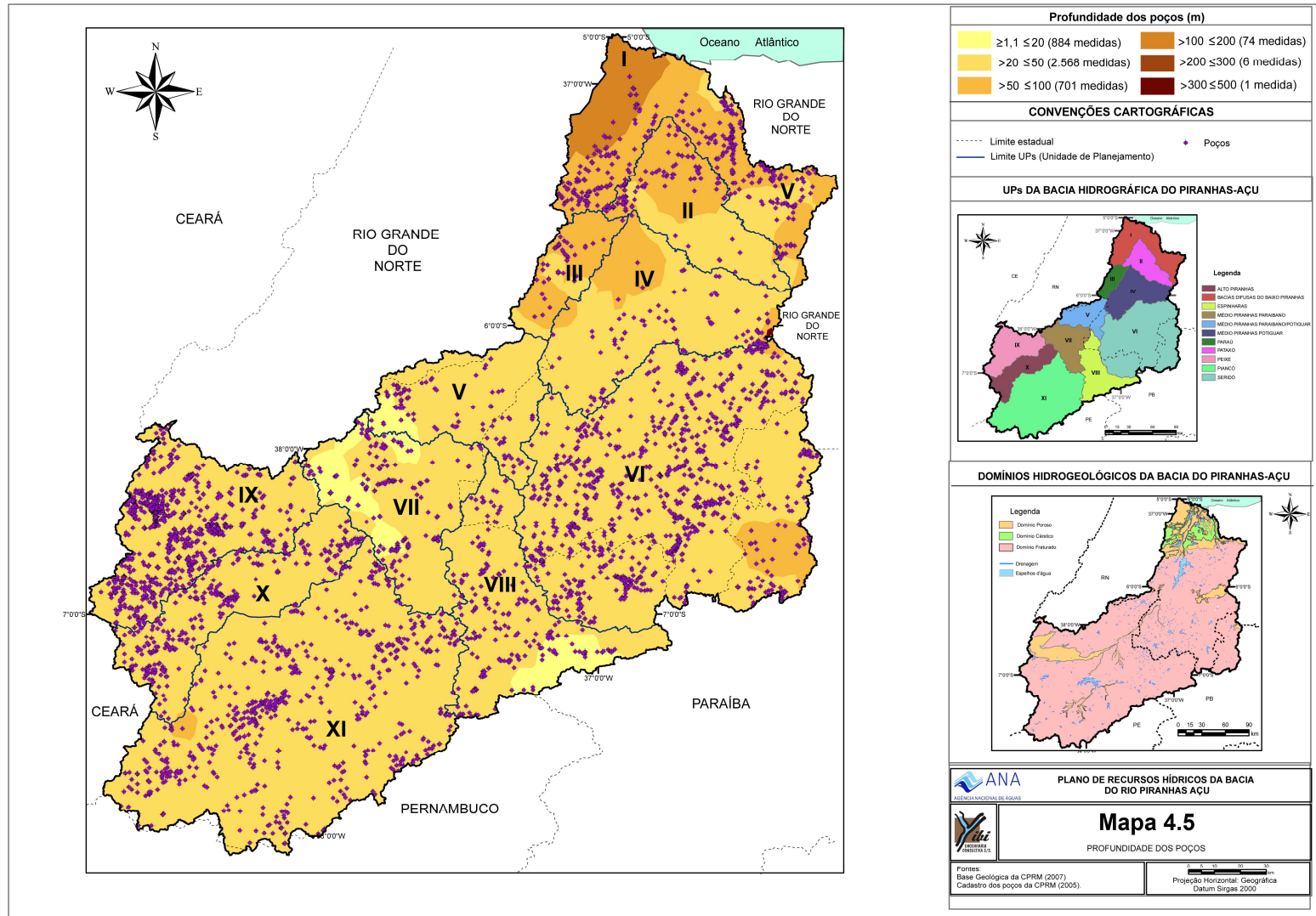
Em relação a situação dos poços que constam no cadastro, se observa na porção da bacia inserida na Paraíba a predominância de poços ativos (59,4%), com somente um pequeno percentual de obras abandonadas (6,7%) (**Figura 4.16**). Um comportamento similar ocorre no Rio Grande do Norte, onde os poços ativos predominam com 57,2% e os abandonados com 10,4% (**Figura 4.17**). No modo geral, o somatório de poços ativos com os desativados, que podem ser recuperados, e poços não instalados, demonstra que existe um potencial expressivo de obras captando, ou que podem captar, as águas subterrâneas para usos em diversos setores.



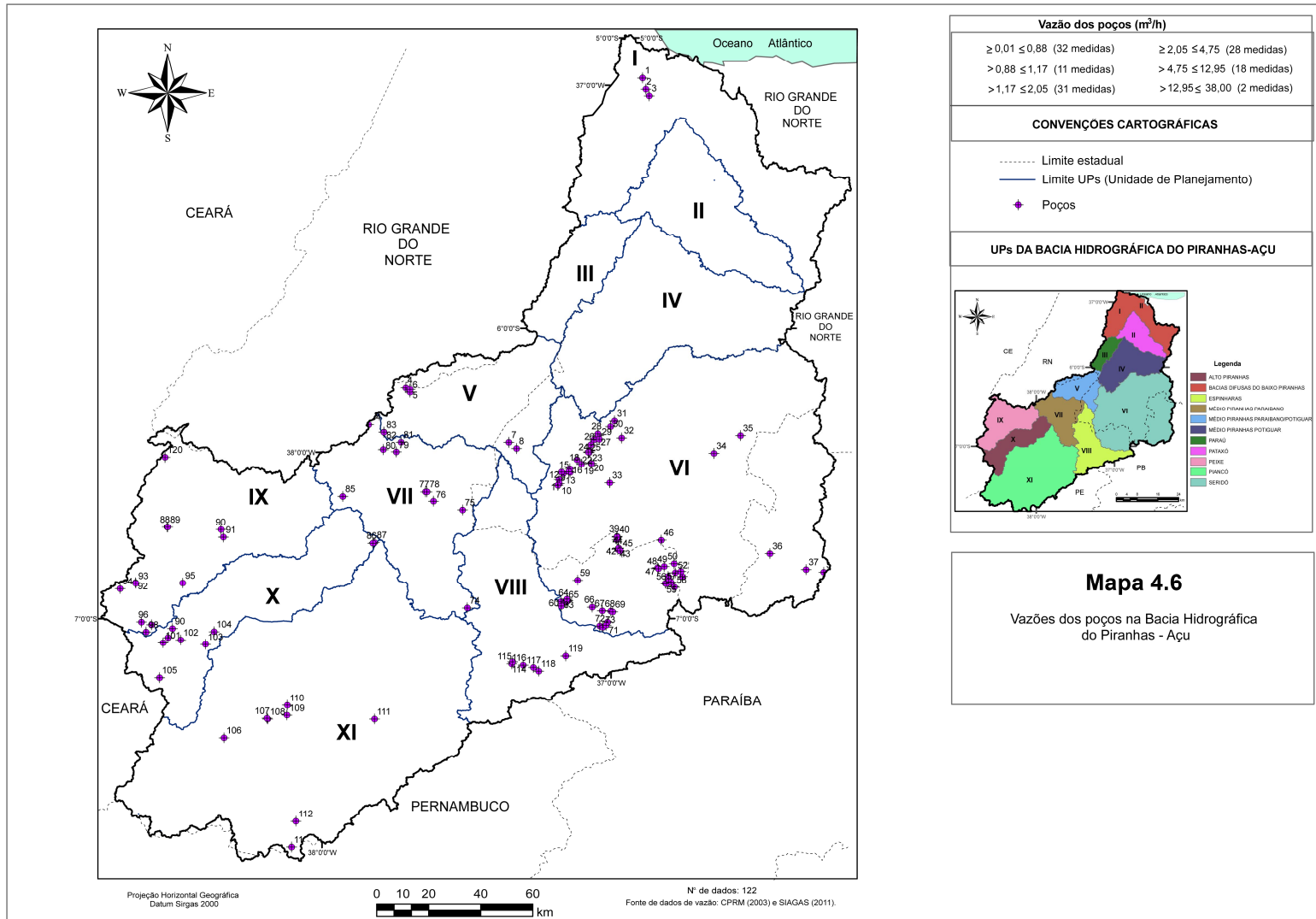
Fonte de dados: CPRM, 2005

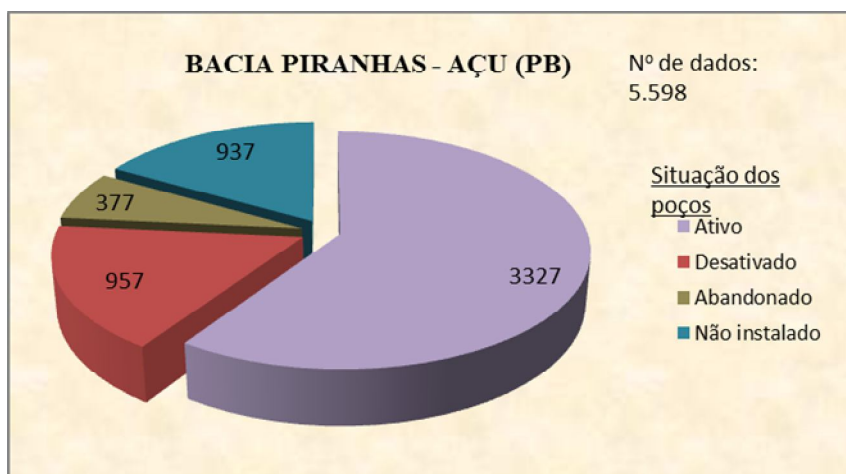
Figura 4.. Valores anômalos de profundidade de poços na Bacia Piranhas – Açú

Mapa 4.. Profundidade dos Poços na Bacia Hidrográfica do Piranhas - Açú



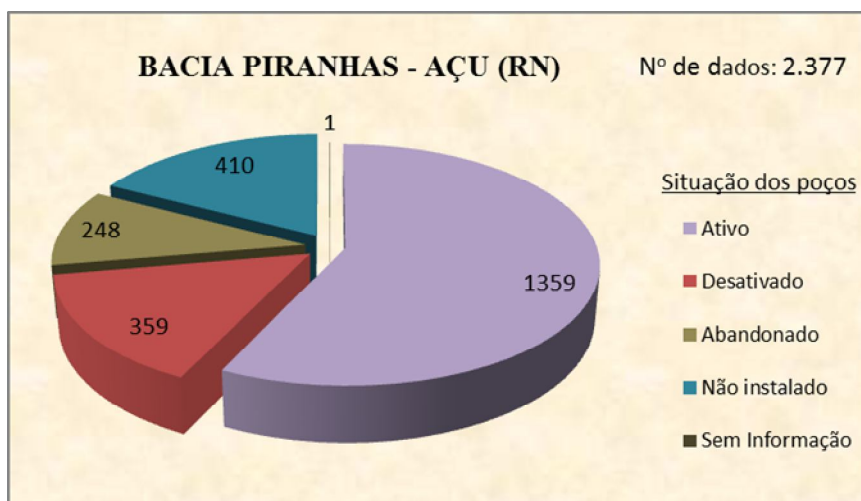
Mapa 4.. Vazões dos Poços na Bacia Hidrográfica do Piranhas – Açu





Fonte de dados: CPRM, 2005

Figura 4.. Situação dos poços na Bacía Piranhas – Açú (PB)



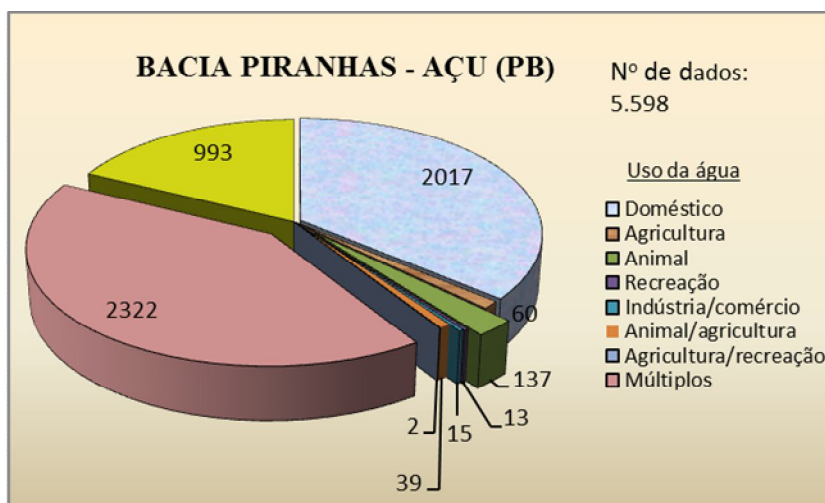
Fonte de dados: CPRM, 2005

Figura 4.. Situação dos poços na Bacía Piranhas – Açú (RN)

4.3.3. *Uso da Água*

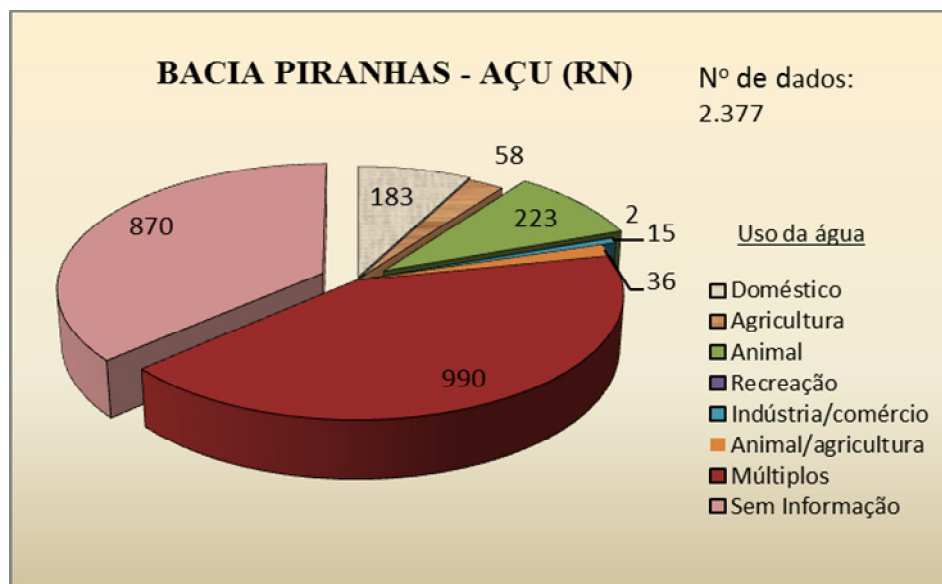
A água subterrânea captada pelos poços na Bacía Piranhas – Açú, porção Paraíba, é direcionada principalmente para usos múltiplos (41,47%), com 36% para uso exclusivamente doméstico e, embora 17,73% das fichas técnicas não tenham dados sobre o uso da água, acredita-se que, por serem poços construídos principalmente para usuários comuns (maioria em residências), o uso principal seja, também, direcionado ao caráter doméstico e, desta forma, acredita-se que 53,73% dos poços sejam utilizados para uso doméstico.

Poucos são os poços, ainda, com uso direcionado para a indústria/comércio (**Figura 4.18**). O comportamento de uso da água na porção do Rio Grande do Norte é similar, porém a ausência de informações sobre o uso da água é significativa (36,6%) (**Figura 4.19**).



Fonte de dados: CPRM, 2005

Figura 4.. Uso das águas subterrâneas na Bacia Piranhas – Açu, porção Paraíba.



Fonte de dados: CPRM, 2005

Figura 4.. Uso das águas subterrâneas na Bacia Piranhas – Açu, porção Rio Grande do Norte

4.3.4. Rede de Monitoramento

A análise dos resultados no Projeto “Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro” (CPRM/UFRN/FINEP, 2007a), Tópico “Hidrogeologia do Aquífero Açu na Borda Leste da Bacia Potiguar: Trecho Upanema – Afonso Bezerra”, levou a definição de uma rede de monitoramento composta por 81 poços tubulares com finalidade quali-quantitativa neste trecho, a fim de monitorar as variações das cargas potenciométricas do Aquífero Açu, através de medidas de nível estático, medidas hidroquímicas e realização de análises hidroquímicas completas. Os poços dispõem de perfis construtivos, profundidades oscilando de 20m a 118m, nível estático variando de 5m a 79m,

topo do filtro a profundidades que variam de 15m a 90m, diâmetro predominante do poço é de 6 polegadas e todos os poços possuem proteção sanitária.

A CPRM (2012) propôs e definiu as bases para a implantação de Rede de Monitoramento Integrado das Águas Subterrâneas abrangendo os principais aquíferos do país. A rede de monitoramento, de natureza fundamentalmente quantitativa, foi concebida tendo como principal objetivo o conhecimento mais detalhado a respeito dos aquíferos de modo a propiciar a médio e longo prazos: 1) A identificação de impactos às águas subterrâneas em decorrência da exploração ou das formas de uso e ocupação dos terrenos; 2) A estimativa da disponibilidade do recurso hídrico subterrâneo; 3) A avaliação da recarga e o estabelecimento do balanço hídrico; 4) Informações do nível d'água; 5) Determinação de tendências de longo termo tanto como resultado de mudanças nas condições naturais quanto derivadas de atividades antropogênicas etc.

No Relatório “Diagnóstico Aquífero Açú, Bacia Potiguar da RIMAS – Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas” (CPRM, 2012), mostra-se que foram previstas construções de poços objetivando o monitoramento do Aquífero Açú nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará. Foram construídos nove (9) piezômetros no Aquífero Açú e encontram-se em operação e suas principais características estão apresentadas na **Tabela 4.3**.

Tabela 4.. Principais características dos poços construídos para o monitoramento no Aquífero Açú, Bacia Potiguar

MUNICÍPIO	LOCALIDADE	LAT	LONG	ESTADO	PROPRIETÁRIO	NE	PROF. (m)	Q (m ³ /h)
Upanema	Assentamento Esperança	-5.652	-37.286	RN	CPRM	12.87	42	1.2
Alto Santo	Campos Velhos	-5.522	-38.009	CE	CPRM	59.54	100	3.6
Quixeré	Centro do Idoso	-5.069	-37.987	CE	CPRM	5.85	100	3.273
Açú	Fazenda Olho d'Água do Mato	-5.560	-37.056	RN	CPRM	40.72	102	5.4
Afonso Bezerra	Fazenda São Sebastião dos Torquatos	-5.425	-36.531	RN	CPRM	11.32	97	6.5
Apodi	Secretaria de Agricultura	-5.661	-37.787	RN	CPRM	0.77	100	
Jaguaruana	Sítio Açú de do Coelho	-4.905	-37.695	CE	CPRM			
Caraúbas	Assentamento Primeiro de Maio	-5.665	-37.485	RN	CPRM	60.0	120	
Jardim de Angicos	Serrinha de Cima	-5.508	-41.979	RN	CPRM	46.0	63	3.0

Fonte: CPRM, 2012

Destes nove (9) poços de monitoramento, somente aqueles localizados nos municípios de Açú e Afonso Pena estão localizados no âmbito da Bacia Piranhas – Açú, especificamente na UP I (Bacias Difusas do Baixo Piranhas).

4.4. Reservas, Recursos Explotáveis e Disponibilidades das Águas Subterrâneas

4.4.1. Reservas

No cálculo de reservas das águas subterrâneas alguns parâmetros irão influenciar, a exemplo do volume hídrico precipitado, tipo de aquífero, características dimensionais e hidrodinâmicas do meio e qualidade da água. O cálculo das reservas hídricas subterrâneas deve ser incorporado a qualquer projeto direcionado ao planejamento e gestão integrada de recursos hídricos. O planejamento dos recursos hídricos (superficial e subterrâneo) deve considerar o uso integrado das reservas, recursos e disponibilidades de água, associados a qualidade hídrica, ocupação do meio físico, uso e proteção (CAVALCANTE, 1998).

As rochas sedimentares possuem porosidade e condutividade hidráulica primárias decorrentes da própria diagênese, facilitando o armazenamento e fluxo d'água, a exemplo daquelas que compõem o Aquífero Açú. Entretanto, existem rochas sedimentares que sofreram a ação de processos secundários, a exemplo de tectônica ruptural e/ou dissolução, e que passam a ter comportamento anisotrópico e heterogêneo, a exemplo do Aquífero Jandaíra, onde o armazenamento e fluxo hídrico subterrâneo ocorrem no meio cárstico, ou no Aquífero Fraturado, com porosidade e permeabilidade secundárias, o que dificulta sobremaneira o cálculo de reservas hídricas.

Os volumes hídricos armazenados nos sistemas aquíferos representam as reservas e podem ser avaliadas segundo um ponto de vista natural ou utilitário. Tradicionalmente, estas reservas são classificadas como renováveis (dinâmicas ou reguladoras) e não renováveis (permanentes ou geológicas). As reservas totais são obtidas pela somatória das reservas renováveis e permanentes. Sob uma análise integrada, em função de escala de tempo de renovação e uso das águas, a classificação de reservas permanentes (não renováveis) não encontra respaldo, pois se sabe que a água subterrânea não está desconectada do ciclo hidrológico, participando efetivamente à medida que existe recarga, extração através de poços tubulares e descarga (Cavalcante, 1998)

Convém ressaltar que para o Domínio Hidrogeológico Poroso na Bacia do Piranhas – Açú não existem dados cadastrados de espessura saturada por aquífero, muito menos dados sobre porosidade efetiva. No projeto realizado pela CPRM/UFRN/FINEP (2007a) para o Aquífero Açú, borda da Bacia Potiguar no Trecho Upanema – Afonso Bezerra (RN), tem-se que a variação sazonal do nível d'água é de 0,54m e a porosidade efetiva é de 2,1%, porém se deve frisar que a variação sazonal das águas subterrâneas depende intrinsecamente da evaporação e da profundidade em que se encontram as águas subterrâneas, ou seja, variando regionalmente.

Em função da ausência de parâmetros hidrogeológicos confiáveis, optou-se, neste projeto, por não se realizar o cálculo das reservas renováveis e permanentes das águas subterrâneas, mostrando-se somente a fundamentação teórica dos aspectos envolvidos nestes cálculos.

4.4.2. Recursos Explotáveis ou Potencialidade Aquífera (P)

É interessante observar que a utilização dos recursos hídricos explotáveis está associada a responsabilidade de uso dos recursos hídricos que estão disponíveis sem que haja comprometimento do aquífero nem do meio ambiente.

Em princípio, para que não haja comprometimento do aquífero, é recomendável a explotação do volume correspondente à recarga, ou seja, a reserva reguladora do aquífero sem provocar qualquer depleção nas reservas permanentes. Porém, dentro de uma visão sistêmica, o uso depende fundamentalmente do conhecimento técnico das reservas, com monitoramento em tempo real, integrado a evolução da demanda.

O Projeto “Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste do Brasil”, Tópico “Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe” desenvolvido pela CPRM em parceria com a Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/PB sob encomenda da FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos (CPRM/UFCG/FINEP, 2007b), mostra dados do potencial subterrâneo e das reservas subterrâneas explotáveis (Explotáveis) correlacionáveis aos aquíferos nas Bacias do Rio Piranhas e na do Rio do Peixe (**Tabela 4.4**).

Tabela 4.. Potencial hídrico subterrâneo e recursos subterrâneos exploráveis nas Bacias do Rio Piranhas e Rio do Peixe

Bacia Hidrográfica	Potencial Subterrâneo (Hm ³ /ano)	Re (Hm ³ /ano)	Sistema Aquífero
Rio Piranhas	108,11	100,30	Aluvionar e Rio do Peixe
Alto Piranhas	9,49	13,26	Aluvionar e Rio do Peixe
Médio Piranhas	7,03	25,56	Aluvionar
Rio do Peixe	7,68	2,17	Aluvionar
Sub-bacia do Rio Piancó	62,07	41,51	Aluvionar
Sub-bacia do Rio Espinharas	9,65	11,07	Aluvionar
Sub-bacia do Rio Seridó	12,19	6,63	Aluvionar

Fonte: TC/BR – Tecnologia e Consultoria Brasileira S. A. (in CPRM/UFCEG/FINEP, 2007b)

LEGENDA: Re – Recursos exploráveis

A SRH/RN, no Relatório “Síntese do Plano Estadual dos Recursos Hídricos” elaborado pela Hidroservice Engenharia Ltda (SRH/RN, 1998), expõe valores relativos ao dimensionamento das disponibilidades e potencialidades das águas subterrâneas para a Bacia Piranhas - Açú, associados a qualidade das águas (**Tabela 4.5**) ressaltando que em função de um grande número de poços não possuírem informações sobre o aquífero captado, adotou-se a postura linear de repartir as disponibilidades proporcionalmente as áreas aquíferas, realizando-se ajustes e correções necessárias.

Tabela 4.. Recursos hídricos subterrâneos da Bacia Piranhas - Açú

Aquífero	Área (km ²)	Disponibilidade (Hm ³ /ano)	Potencialidade (Hm ³ /ano)	Profundidade dos poços (m)	RS (mg/L)
Dunas	19,2	0,37	0,29	5	≤250
Aluviões	494,1	13,7	21,97	5-50	250 a 4000
Barreiras	565,2	1,99	39,50	40-80	250 a 500
Jandaíra	2367,3	8,14	16,91	50-150	500 a 4000
Açú	3729,0	16,99	3,44	70-100	Até 2000
Cristalino	13642,0	7,67	7,69	50	500 a 4000
TOTAL	-	48,88	89,80	-	-

Fonte: SRH/RN, 1998

4.4.3. Disponibilidades Hídricas Subterrâneas

Este termo refere-se ao volume que pode ser explorado sem risco de exaustão do sistema aquífero (DUARTE, 1997 e CAVALCANTE, 1998). A oferta de água subterrânea será definida de acordo com as Disponibilidades Efetiva (De) - também denominada Disponibilidade Instalada - e Disponibilidade Instalável (Di), resultando na Disponibilidade Total (De + Di) de cada domínio hidrogeológico.

Para a projeção de oferta dos recursos hídricos subterrâneos utiliza-se a Disponibilidade Total, resultante da soma das vazões cedidas pelos poços acrescida das vazões que poderão ser fornecidas posteriormente pelos poços que poderão entrar em operação, tendo em vista ser o

conceito considerado como o mais adequado para fins de planejamento e gestão das águas subterrâneas.

4.5. Estimativa das Disponibilidade das Águas Subterrâneas

- Disponibilidade Efetiva (Disponibilidade Instalada)

Como os dados sobre vazão, particularmente por tipo de Aquífero (Açu e Jandaíra, por exemplo), são precários, procurou-se utilizar uma vazão média de poço por domínio hidrogeológico, por vezes se recorrendo ao conhecimento regional, e um tempo médio de bombeamento que varia de acordo com a necessidade do usuário, utilizando-se a Equação 01:

$$De = Q_m \cdot P \cdot t \quad \text{[Equação 01]}$$

Sendo que:

De = Disponibilidade Efetiva (m^3/ano); Q_m = Vazão média dos poços (m^3/h) na Unidade de Planejamento (UP); P = N° de poços por Unidade de Planejamento (UP); t = Tempo estimado de bombeamento do poço/dia (365 dias/ano).

- Disponibilidade Instalável

O volume hídrico oriundo dos poços instaláveis é calculado pela Equação 02.

$$Di = Q_m \cdot P \cdot t \quad \text{[Equação 02]}$$

Sendo que:

Di = Disponibilidade Instalável (m^3/ano); Q_m = Vazão média dos poços (m^3/h) na Unidade de Planejamento (UP); P = N° de poços por Unidade de Planejamento (UP); t = Tempo estimado de bombeamento do poço/dia (365 dias/ano).

O conhecimento sobre as disponibilidades hídricas subterrâneas deve ser incorporado a qualquer projeto relacionado com planejamento e gestão dos recursos hídricos. Nem sempre existe a relação direta entre a bacia hidrográfica e a bacia hidrogeológica, esta dependendo fundamentalmente de suas características geológicas, particularmente do posicionamento estratigráfico e estrutural, ou seja, do arranjo geométrico das camadas rochosas.

Na Bacia Piranhas - Açu foi analisado um arquivo com 7.975 poços em 43.681,4 km^2 , gerando uma densidade de menos de um (1) poço por km^2 (0,18/ km^2), sendo que destes somente 122 (1,52%) possuem dados de vazão. A **Tabela 4.6** apresenta as vazões dos poços em uso e desativados nos diferentes domínios hidrogeológicos da Bacia Piranhas – Açu.

A vazão é um parâmetro importante para o conhecimento da explotabilidade da água subterrânea. Não existem informações essenciais ao dimensionamento das reservas hídricas subterrâneas, tais como: espessura aquífera, características litológicas descritivas, porosidade efetiva, condutividade hidráulica, espessura saturada e características de testes de bombeamento (duração, dados obtidos, métodos etc).

Tabela 4.. Vazões dos poços nos diferentes domínios hidrogeológicos da Bacia Piranhas – Açu

POÇOS EM USO COM VAZÕES MEDIDAS E INFORMADAS						
Domínio Hidrogeológico	$\sum Q$ (m ³ /h) medida	Média Q (m ³ /h) medida	Nº de dados medidos	$\sum Q$ (m ³ /h) informada	Média Q (m ³ /h) informada	Nº de dados informados
Poroso	98,04	4,66	21	1686,02	6,02	280
Cárstico	-	-	-	90,44	5,65	16
Faturado	233,94	3,54	66	2824,87	2,78	1016

POÇOS DESATIVADOS COM VAZÕES MEDIDAS E INFORMADAS						
Domínio Hidrogeológico	$\sum Q$ (m ³ /h) medida	Média Q (m ³ /h) medida	Nº de dados medidos	$\sum Q$ (m ³ /h) informada	Média Q (m ³ /h) informada	Nº de dados informados
Poroso	2,9	0,97	3	358,3	4,59	78
Cárstico	-	-	-	28,4	4,73	6
Faturado	40,9	1,1	37	1060,73	2,01	527

Legenda: Q – Vazão
Fonte: CPRM, 2005.

Segundo Albuquerque et al. (2007), para a Bacia do Rio do Peixe “As análises apresentadas evidenciam que o cálculo do potencial hídrico subterrâneo da Bacia, necessário para a elevação segura das suas disponibilidades, apresenta-se, pelo número de variáveis que envolve, como tarefa de extrema complexidade, agravada pelas incertezas e restrições ao conhecimento da real configuração geológica da bacia sedimentar”.

Kunzler (2007) (in CPRM/UFCEG/FINEP, 2007b) fez uma estimativa de recarga da Bacia do Rio do Peixe através de modelagem matemática hidrogeológica com o uso do pacote WATER BUDGET. A maior recarga ocorre na Formação Antenor Navarro na Sub-bacia de Brejo das Freiras, estimada em 32 milhões de m³/ano. Esta recarga contribui, em grande parte, para o escoamento lateral que penetra na Formação Sousa, também na Sub-bacia de Brejo das Freiras, que possui recarga estimada de 10,8 milhões de m³/ano. Na Sub-bacia de Sousa, limitada a uma pequena área no início desta, foi dimensionada para a Formação Antenor Navarro (Período de Novembro/2005 a Maio/2006) uma recarga de 3,7 milhões de m³/ano. Outra pequena área de que é composta esta sub-bacia e onde está localizada a Formação Rio Piranhas, na porção sudeste da Bacia, recebeu recarga de 2,8 milhões de m³/ano no período citado. A maior parte da Sub-bacia de Sousa é preenchida pela formação homônima e, conseqüentemente, onde há o maior volume de recarga, chegando a um total de 18,3 milhões de m³/ano, que representa a maior parcela de recarga desta sub-bacia. Em termos de lâmina de recarga as cinco (5) zonas, na ordem, Antenor Navarro (BJ); Sousa (BJ); Antenor Navarro (S); Sousa (S) e Rio Piranhas (S), apresentaram, respectivamente, 118, 47, 33, 33 e 42 mm. Ainda em se tratando de lâmina, o valor médio de recarga ao longo da Bacia foi de 58,8 mm/2005-06.

Neste projeto a vazão média dos poços foi gerada por domínio hidrogeológico face a escassez de dados por Unidade de Planejamento (UP). Inúmeras vezes, observa-se que não existem poços cadastrados em determinadas UP`s e, necessitando de uma atualização do cadastro de

poços em campo, assim sendo, optou-se por calcular as disponibilidades hídricas subterrâneas em função direta dos domínios hidrogeológicos totais.

O tempo de bombeamento adotado para o cálculo de disponibilidade, instalada ou instalável, foi de 4h/dia, decorrente da média obtida das informações constantes no IGARN (2011), trabalhando-se com 597 dados que refletiam o uso das águas subterrâneas para abastecimento comunitário, abastecimento urbano, indústria e irrigação, dentre outros, e que resultou em um tempo médio de 4,22h/dia, e de 122 poços com vazões nos domínios hidrogeológicos poroso e fraturado nas diferentes Unidades de Planejamento (CPRM, 2005) que refletiam um tempo de bombeamento de 4,2h/dia.

4.5.1. Disponibilidade Efetiva dos Poços no Domínio Hidrogeológico Fraturado

Ao se analisar os dados de vazão dos poços em uso na Bacia Piranhas-Açu, Domínio Hidrogeológico Fraturado, observa-se que 66 deles possuem vazão medida (média de 3,54 m³/h), enquanto 37 poços desativados mostram vazão média medida de 1,10 m³/h.

Em relação a vazão informada (CPRM, 2005), dos poços em uso observa-se que 1016 deles possuem estes dados, refletindo média de 2,78 m³/h. Referente aos desativados, 527 deles possuem dados que refletem vazão média informada de 2,01 m³/h.

Assim sendo, as vazões médias medida e informada são, respectivamente, de 2,66 m³/h (103 poços) e 2,51 m³/h (1543 poços), permitindo se utilizar para efeitos de cálculos a vazão média geral de 2,5 m³/h para o Domínio Fraturado da Bacia Piranhas-Açu.

Ressalta-se que o Fraturado, apesar da sua baixa vocação aquífera, muitas vezes é a única solução disponível para abastecimento de pequenas comunidades, particularmente rurais, e que segundo Costa (2002) a vazão média dos poços neste domínio no Rio Grande do Norte é de 2,8 m³/h, com 80,1% dos poços possuindo uma vazão de até 4 m³/h. A CPRM/UFCG/FINEP (2007b) mostra que neste ambiente as vazões variam de 0,3 a 5,5 m³/h, com média de 3 m³/h.

Como as informações em relação ao uso da água subterrânea no âmbito da Piranhas-Açu são precárias relativo a indústria e ao abastecimento público, e observando-se que é predominantemente múltiplo (41,47% na Paraíba e 41,64% no Rio Grande do Norte), secundado por uso doméstico (36% na Paraíba e 36,6% no Rio Grande do Norte), e baseando-se no tempo médio de bombeamento obtido do cadastro de poços, optou-se por uniformizar o tempo de operação dos poços em uso em 4 horas/dia.

Desta forma, os poços no Domínio Fraturado, utilizando-se 2780 poços ativos (CPRM, 2005) com vazão média de 2,5 m³/h bombeados 04 (quatro) horas/dia, geram uma Disponibilidade Instalada (Efetiva) de 10,14 x 10⁶ m³/ano, ou seja, 10,14 bilhões de litros de água bombeados a cada ano. Colocando-se por Unidade de Planejamento (UP), obtém-se a configuração mostrada na **Tabela 4.7**.

Tabela 4.. Disponibilidade Efetiva (De) dos Poços no Domínio Hidrogeológico Fraturado nas Unidades de Planejamento (UP) da Bacia Piranhas- Açú.

Domínio Hidrogeológico Fraturado na Bacia Piranhas - Açú			
Unidade de Planejamento UP	Área (km²)	Disponibilidade Efetiva (m³/ano x 10³)	Número de Poços Ativos com Coordenadas
Bacias Difusas do Baixo Piranhas (UP1)	906,95	-	-
Pataxó (UP 2)	1.076,82	40,2	11
Paraú (UP 3)	858,67	86,7	24
Médio Piranhas Potiguar (UP 4)	3.305,83	295,7	81
Médio Piranhas Paraibano/Potiguar (UP 5)	2.206,11	171,6	47
Seridó (UP 6)	9.666,02	3555,1	974
Médio Piranhas Paraibano (UP 7)	2.737,25	467,2	128
Espinharas (UP 8)	3.261,43	1288,5	353
Peixe (UP 9)	2.340,45	1850,6	507
Alto Piranhas (UP 10)	2.255,76	653,3	179
Piancó (UP 11)	8.961,72	1737,4	476
TOTAL	37.577,00	10.146,3	2.780

4.5.2. Disponibilidade Instalável dos Poços no Domínio Hidrogeológico Fraturado

Existem 2285 poços desativados no Domínio Fraturado e, neste projeto, estima-se que 33,3% deles (762) são passíveis de recuperação e, portanto, como potencial opção para o fornecimento de água para a população. A estimativa dos poços potencialmente capazes de serem recuperados se deve ao número de poços que se encontram desativados por problemas mais simples, como a não instalação do sistema de bombeamento ou reparo de peças que ainda não foram efetivadas à época da coleta dos dados em campo realizada pela CPRM (2005).

Com vazão média de 2,5 m³/h e considerando-se um tempo de bombeamento de quatro (4) horas/dia, os cálculos mostram que existe uma Disponibilidade Instalável de 2,78 x 10⁶ m³/ano, ou seja, 2,78 bilhões de litros/ano. Tal disponibilidade colocada por UP pode ser visualizada na **Tabela 4.8**.

Tabela 4.. Disponibilidade Instalável (Di) dos poços no Domínio Hidrogeológico Fraturado na Bacia Piranhas- Açú

Domínio Hidrogeológico Fraturado na Bacia Piranhas - Açú			
Unidade de Planejamento UP	Área (km²)	Disponibilidade Instalável (m³/ano x 10³)	Número de Poços Passíveis de Recuperação com Coordenadas
Bacias Difusas do Baixo Piranhas (UP1)	906,95	3,7	01
Pataxó (UP 2)	1.076,82	3,7	01
Paraú (UP 3)	858,67	22,2	06
Médio Piranhas Potiguar (UP 4)	3.305,83	116,8	32
Médio Piranhas Paraibano/Potiguar (UP 5)	2.206,11	65,7	18
Seridó (UP 6)	9.666,02	857,8	235
Médio Piranhas Paraibano (UP 7)	2.737,25	127,8	35

Espinharas (UP 8)	3.261,43	310,3	85
Peixe (UP 9)	2.340,45	386,9	106
Alto Piranhas (UP 10)	2.255,76	230,0	63
Piancó (UP 11)	8.961,72	657,0	180
TOTAL	37.577,00	2.781,9	762

Assim sendo, a Disponibilidade Total (Disponibilidades Efetiva e Instalável) resultante dos 3542 poços analisados é de $12,92 \times 10^6$ m³/ano, ou seja, 12,92 bilhões de litros/ano.

4.5.3. Disponibilidade Efetiva dos Poços no Domínio Hidrogeológico Poroso

No cadastro existem 382 dados de vazão dos poços na Bacia Piranhas-Açu, Domínio Hidrogeológico Poroso (Cobertura Aluvionar, Depósitos Litorâneos, Coberturas Detrítico-Lateríticas, Barreiras, Serra dos Martins e Açu), e observa-se que 21 deles em uso possuem vazão medida (obtida de ensaios de bombeamento) (média de 4,66 m³/h), enquanto 03 poços desativados mostram vazão média medida de 0,97 m³/h.

Em relação a vazão informada, cedida pelo usuário à época do cadastramento, dos poços em uso observa-se que 280 deles possuem estes dados, refletindo média de 6,02 m³/h. Referente aos desativados, 78 deles possuem dados que refletem vazão média informada de 4,59 m³/h.

Assim sendo, as vazões médias medida e informada são, respectivamente, de 4,2 m³/h (24 poços) e 5,7 m³/h (358 poços), permitindo se utilizar para efeitos de cálculos a vazão média geral de 5,0 m³/h para o Domínio Hidrogeológico Poroso da Bacia Piranhas-Açu.

Em termos de uso da água subterrânea, assim como para o Domínio Fraturado, optou-se por uniformizar o tempo de operação dos poços em uso em 4 horas/dia.

Desta forma, os 1291 poços ativos no Domínio Poroso na Bacia Piranhas – Açu (CPRM, 2005) e com adotando-se a vazão média de 5,0 m³/h bombeados 04 (quatro) horas/dia, geram uma Disponibilidade Efetiva de $9,42 \times 10^6$ m³/ano, ou seja, 9,42 bilhões de litros de água bombeados por ano.

Colocando-se por Unidade de Planejamento (UP), obtém-se a distribuição mostrada na **Tabela 4.9**.

Tabela 4.. Disponibilidade Efetiva (De) dos poços no Domínio Poroso na Bacia Piranhas - Açu.

Domínio Hidrogeológico Poroso na Bacia Piranhas - Açu			
Unidade de Planejamento (UP)	Área (km ²)	Disponibilidade Efetiva (m ³ /ano x 10 ³)	Número de Poços Ativos com Coordenadas
Bacias Difusas do Baixo Piranhas (UP1)	1882,65	43,8	06
Pataxó (UP 2)	506,19	-	-
Paraú (UP 3)	121,37	-	-
Médio Piranhas Potiguar (UP 4)	230,51	109,5	15
Médio Piranhas Paraibano/Potiguar (UP 5)	44,85	350,4	48
Seridó (UP 6)	255,73	1460,0	200
Médio Piranhas Paraibano (UP 7)	164,24	824,9	113
Espinharas (UP 8)	36,01	817,6	112
Peixe (UP 9)	1096,72	5372,8	736

Alto Piranhas (UP 10)	314,18	51,1	07
Piancó (UP 11)	255,00	394,2	54
TOTAL	4908,69	9424,2	1291

4.5.4. Disponibilidade Instalável dos Poços no Domínio Hidrogeológico Poroso

Existem 532 poços desativados no Domínio Poroso e, neste projeto, estima-se que 33,4% deles (178) são passíveis de recuperação e, portanto, como potencial opção para o fornecimento de água para a população.

A estimativa dos poços potencialmente capazes de serem recuperados se deve ao número de poços que se encontram desativados por problemas mais simples, como a não instalação do sistema de bombeamento ou reparo de peças que ainda não foram efetivadas à época da coleta dos dados em campo realizada pela CPRM (2005).

Com vazão média de 5m³/h e considerando-se um tempo de bombeamento de quatro (4) horas/dia, os cálculos mostram que existe uma Disponibilidade Instalável de 1,29 x 10⁶ m³/ano, ou seja, 1,29 bilhões de litros/ano. Tal disponibilidade colocada por UP pode ser visualizada na **Tabela 4.10**.

Tabela 4.. Disponibilidade Instalável (Di) dos poços no Domínio Hidrogeológico Poroso na Bacia Piranhas- Açú

Domínio Hidrogeológico Poroso na Bacia Piranhas - Açú			
Unidade de Planejamento (UP)	Área (km ²)	Disponibilidade Instalável (m ³ /ano x 10 ³)	Número de Poços Potencialmente Recuperáveis com Coordenadas
Bacias Difusas do Baixo Piranhas (UP1)	1882,65	43,8	06
Pataxó (UP 2)	506,19	-	-
Paraú (UP 3)	121,37	-	-
Médio Piranhas Potiguar (UP 4)	230,51	7,3	01
Médio Piranhas Paraibano/Potiguar (UP 5)	44,85	29,2	04
Seridó (UP 6)	255,73	146,0	20
Médio Piranhas Paraibano (UP 7)	164,24	73,0	10
Espinharas (UP 8)	36,01	58,4	08
Peixe (UP 9)	1096,72	817,6	112
Alto Piranhas (UP 10)	314,18	14,6	02
Piancó (UP 11)	255,00	109,5	15
TOTAL	4908,69	1299,4	178

Assim sendo, a Disponibilidade Total no Domínio Hidrogeológico Poroso resultante dos 1469 poços analisados é de 10,61 x 10⁶ m³/ano, ou seja, 10,61 bilhões de litros/ano.

4.5.5. Disponibilidade dos Poços no Domínio Hidrogeológico Cárstico

O Domínio Hidrogeológico Cárstico, assim como o Fraturado, pode ser considerado como anisotrópico e heterogêneo, onde a porosidade e a permeabilidade são secundárias oriundas particularmente da percolação das águas gerando um edifício cárstico capaz de armazenar e liberar a água subterrânea.

A Formação Jandaíra, na Bacia Potiguar, apresenta uma ampla variação litológica, tanto vertical quanto horizontal, sendo constituída por calcários cinzas e cremes, margas, siltitos,

folhelhos, argilitos e dolomitos. O Aquífero Jandaíra localiza-se na porção superior da sequência carbonática da Formação Jandaíra e dispõe-se sub-horizontalmente com espessuras variando de 50 a 250 metros (IPT, 1982). Trata-se de um aquífero essencialmente livre, heterogêneo, hidráulicamente anisotrópico e de circulação cárstica em seu interior seno limitado em sua porção inferior por sedimentos pouco permeáveis pertencentes à base da Formação Jandaíra e topo da Formação Açú, compostos por níveis argilo-arenosos, argilo-siltosos, argilitos, folhelhos, margas e calcários que funcionam como camadas confinantes ou semi-confinantes do Aquífero Açú.

O cadastro de poços utilizado para a Bacia Piranhas – Açú mostra que, neste domínio, existem somente 22 poços com dados de vazão e nenhum poço com coordenadas, o que representa 0,27% dos poços cadastrados e 18% daqueles que possuem dados de vazão. Deve ser ressaltado que não existe no cadastro nenhum dado de vazão medida, sendo todas oriundas de informações prestadas pelos usuários à época do cadastro da CPRM (2005) e resultam em vazão média de 5,4 m³/h.

Assim sendo, dos 38 poços ativos à época do cadastro (CPRM, 2005) e sendo bombeados quatro (4) horas por dia, tem-se uma Disponibilidade Efetiva (De) de 0,299 x 10⁶ m³/ano (0,299 bilhões de litros/ano).

Para a Disponibilidade Instalável (Di), considerando-se 09 poços que podem entrar em funcionamento e adotando-se quatro (4) horas/dia, obtém-se um potencial de 0,070 x 10⁶ m³/ano (0,070 bilhões de litros/ano).

Assim sendo, a Disponibilidade Total (De + Di) para o Domínio Hidrogeológico Cárstico resulta em uma oferta hídrica subterrânea de 0,369 x 10⁶ m³/ano, ou seja, 0,369 bilhões de litros/ano distribuídos nas UP's Bacias difusas do Baixo Piranhas (UP1) e Pataxó (UP2) conforme a **Tabela 4.11**.

Tabela 4.. Disponibilidade hídrica dos poços no Domínio Hidrogeológico Cárstico na Bacia Piranhas- Açú

Domínio Hidrogeológico Cárstico na Bacia Piranhas - Açú			
Unidade de Planejamento (UP)	Área (km ²)	Disponibilidade Total (m ³ /ano x 10 ³)	Número de Poços Ativos (PA)/Potencialmente Recuperáveis (PPR) com Coordenadas
Bacias Difusas do Baixo Piranhas (UP1)	851,0	39,4	26/05
Pataxó (UP 2)	341,0	31,5	12/04
Médio Piranhas Potiguar (UP 4)	3,7	-	-
TOTAL	1195,7	70,9	38/09

5. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

5. QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A caracterização qualitativa das águas torna-se um aspecto importante para a gestão dos recursos hídricos à medida que se entende que, derivado das características físico-químicas e bacteriológicas, o fator qualidade interfere diretamente na quantidade de água efetivamente utilizado pelo usuário, particularmente para consumo humano.

A classificação iônica das águas subterrâneas a partir de 111 amostras de poços tubulares coletadas e analisadas entre Agosto-2005/Fevereiro-2007 (**Figura 5.1**) mostra uma predominância das águas Bicarbonatadas (85,6%) Sódicas (94,6%), praticamente não se observando nestas amostras uma clara distinção iônica. Os níveis de salinidade oscilam entre médio a alto e com risco de sódio entre baixo a médio, com limitações de uso para irrigação em algumas áreas da Bacia do Rio do Peixe ditadas pela Razão de Adsorção de Sódio - RAS (FERNANDES et al., 2007a e CEBALLOS et al, 2006 in CPRM/UFRN/FINEP, 2007a). Em 20 destes poços, suas águas também foram analisadas bacteriologicamente e observou-se que a maioria das amostras apresentou contaminação com Coliformes Termotolerantes e de E. Coli limitando seu uso, particularmente para consumo humano (FERNANDES et al., 2007b).

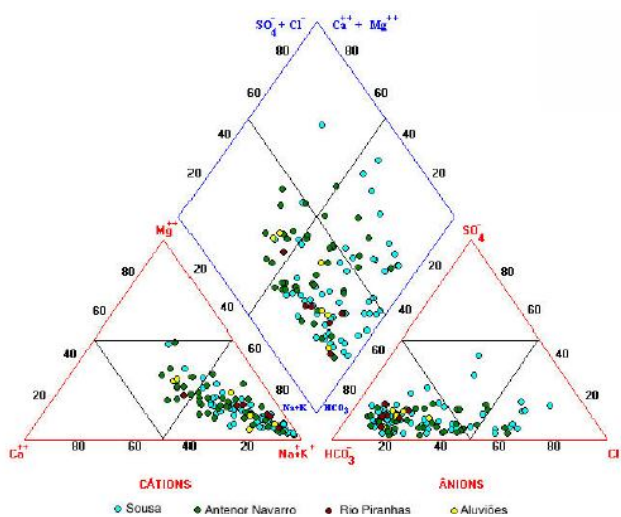
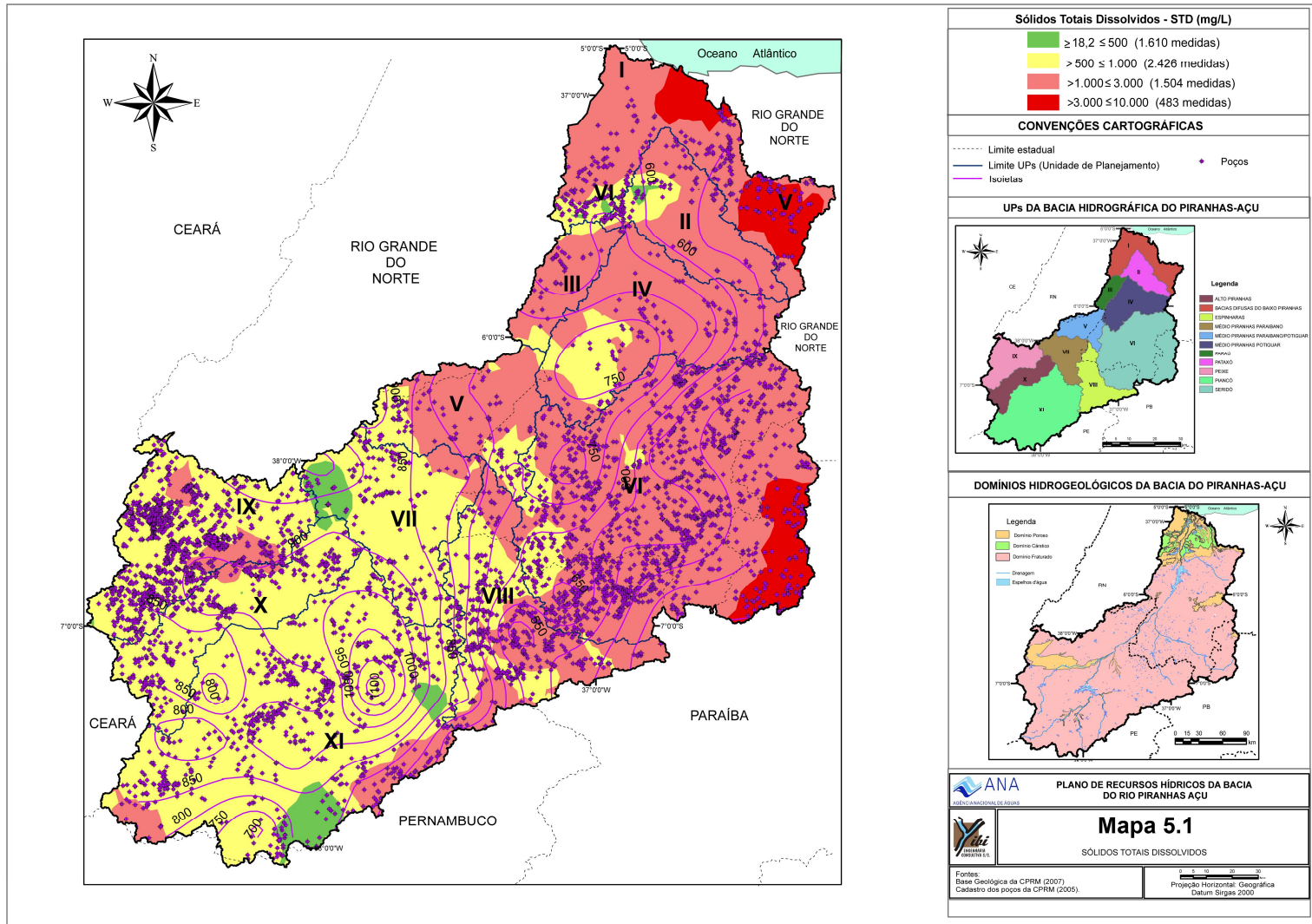


Figura 5.. Classificação iônica pelo Diagrama de Piper das águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe – Paraíba (Fonte: FERNANDES et al., 2007 in CPRM/UFCG/FINEP, 2007b)

O Banco de Dados de Poços (CPRM, 2005) possui, em termos de parâmetros qualitativos, somente dados de Sólidos Totais Dissolvidos – STD. A Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde do Brasil estabelece padrões de potabilidade para as águas que são utilizadas para consumo humano, sejam elas provenientes do abastecimento público ou de fontes alternativas, como os poços, e para STD estabelece um Valor Máximo Permissível de 1000 mg/L. O **Mapa 5.1**, construído com 6.066 medidas de STD, mostra que 66,53% das águas são classificadas como aptas ao uso humano, pois possuem STD de, no máximo, 1000 mg/L. Segundo a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, alterada pela Resolução nº 430/2011 CONAMA, “Águas Doces” são aquelas destinadas, entre outros, ao consumo humano e, desta forma, seguramente, pela análise dos dados de STD e associando-se a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, 66,53% das amostras pertencem a esta classificação.

Mapa 5.. Sólidos Totais Dissolvidos na Bacia Piranhas – Açú



No zoneamento optou-se, em função de segurança, por se retirar valores considerados anômalos de STD (43 dados) (**Figura 5.2**), cujas concentrações refletem águas salobras e salgadas, com STD superior a 10.000 mg/L (mínimo de 10.036 mg/L em Santana do Matos e máximo de 95.290 mg/L em Santana do Seridó). As águas cujo STD é superior a 1000 mg/L (33,4%) concentram-se predominantemente na porção centro-norte da Piranhas – Açu, mesmo onde se tem a predominância dos termos sedimentares.

No cadastro foram obtidas pouquíssimas análises qualitativas referentes as águas subterrâneas da Bacia Piranhas – Açu, demonstrando-se claramente a imensa necessidade de implantação de projetos referentes a qualidade desse recurso. No arquivo de dados obtido não constam coordenadas e, muito menos, qual o aquífero que cedeu a amostra analisada. Desta forma, os parâmetros aqui expostos graficamente, selecionados dessas análises, servem unicamente para ilustrar uma situação hidroquímica na bacia, sem referência ao domínio hidrogeológico. Assim sendo, os gráficos são meramente ilustrativos, com a legenda diretamente vinculada a origem da amostra, não refletindo comportamento estatístico e, sim, as concentrações dos elementos referendados no gráfico.

Observa-se que as águas com pH dentro dos padrões de potabilidade da Portaria nº 2914/2011 MS (6,5 a 9,0) predominam levemente, não deixando de existirem águas extremamente ácidas (pH de até 3,4) (**Tabela 5.1**). É recomendável se atentar para os problemas que águas muito ácidas podem causar ao organismo humano, a exemplo de doenças gástricas diversas.

Tabela 5.. pH das águas subterrâneas na Bacia Piranhas- Açu

Local/Poço	pH
Chafariz I	7,5
Nascente do rio Potengi	3,4
Ind. Sementes Santana	7,8
Granja Adelson Soares	3,6
Comunidade de Umbuzeiro	3,8
Cacimbão Aluvião	7,0
Florância – Sítio Condado	7,9
Balneário Aquavale	4,3
Restaurante Barandão	6,3
Sítio Mulungu	8,2
Olho D'água	6,9
Escritório CAERN	7,2
Sede CAERN Ipanguassu	7,2
Comunidade Canafístula	3,7
Assentamento Santana	4,3

Fonte: IGARN, 2011

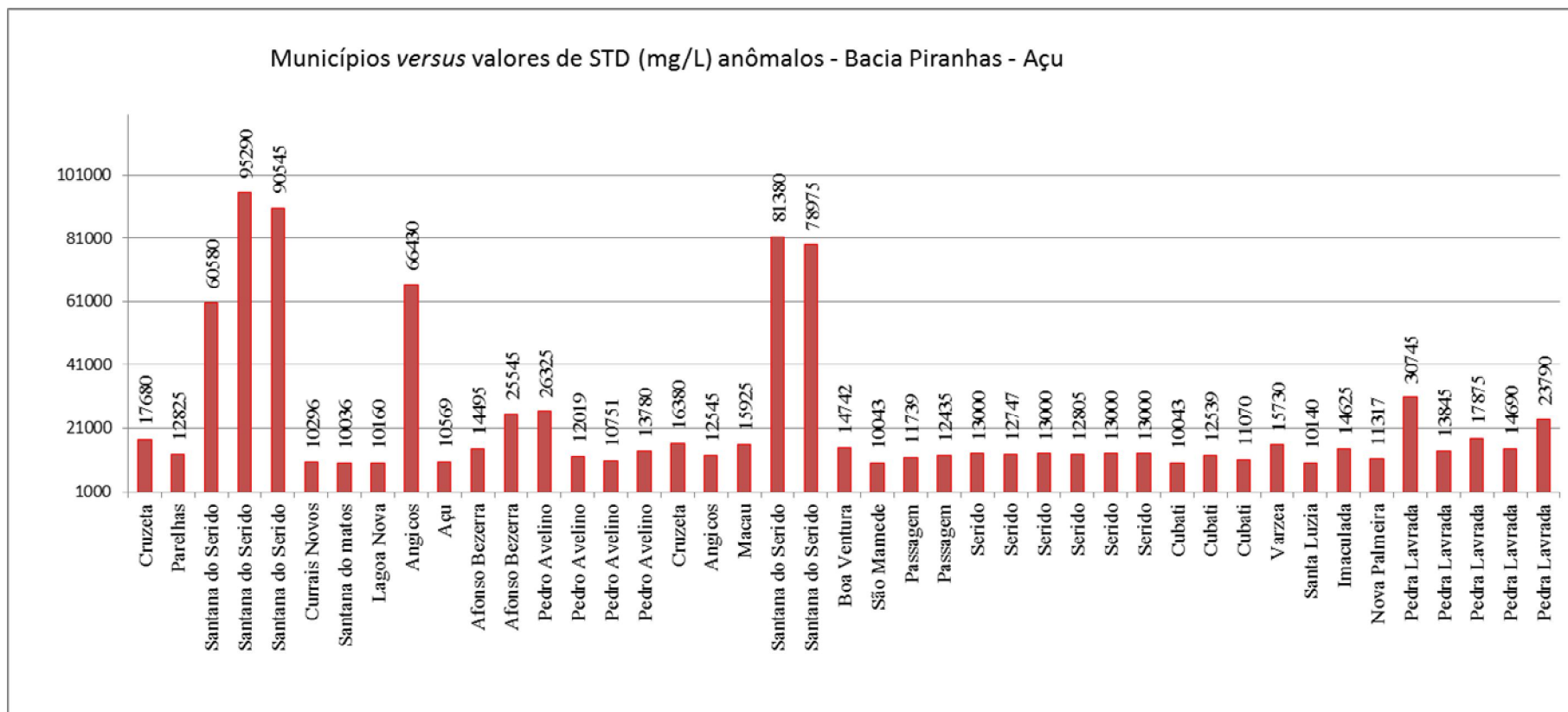


Figura 5.. Valores anômalos de Sólidos Totais Dissolvidos – STD na Bacia Piranhas - Açú

Os cloretos representam sempre, no Nordeste do Brasil, um parâmetro que desperta atenção, haja vista a salinidade sempre ressaltada das águas subterrâneas do Domínio Hidrogeológico Fraturado. Aqui, observa-se que este elemento alcança valor de até 2.766,7 mg/L e que 40% dos valores encontram-se dentro dos padrões de águas potáveis para consumo humano (VMP de até 250 mg/L) (**Tabela 5.2**). Tal elemento exerce atuação diretamente negativa para o organismo humano, particularmente relacionado ao aumento do comportamento da pressão arterial, quando existente em elevadas concentrações nas águas utilizadas para consumo do cotidiano.

Tabela 5.. Concentrações de cloretos nas águas subterrâneas da Bacia Piranhas – Açu

Local/Poço	Cloretos (mg/L)
Chafariz I	112,66
Nascente do rio Potengi	2766,72
Ind. Sementes Santana	435,83
Granja Adelson Soares	1113,31
Comunidade de Umbuzeiro	583,15
Cacimbão Aluvião	1259,11
Florância – Sítio Condado	238,57
Balneário Aquavale	854,87
Restaurante Barandão	82,84
Sítio Mulungu	106,03
Olho D'água	48,79
Escritório CAERN	43,07
Sede CAERN Ipanguassu	43,00
Comunidade Canafístula	1557,87
Assentamento Santana	924,45

Fonte: IGARN, 2011

O ion ferro pode se encontrar nas águas consideradas aptas ao consumo humano em uma concentração de até 0,3 mg/L segunda a Portaria nº 2912/2011 MS. Nas amostras analisadas das águas subterrâneas da Piranhas – Açu observa-se que, de oito (8) amostras, 62,5% possuem concentrações acima do limite permissível, alcançando até 5,06 mg/L (**Tabela 5.3**). Além dos problemas acarretados ao organismo humano, águas com elevadas concentrações de ferro, comumente designadas como portadoras de “*capa rosa*”, causam manchas em materiais de cores claras e causam entupimentos diversos em tubulações.

Tabela 5.. Concentrações de ferro nas águas subterrâneas do Piranhas – Açu

Local/Poço	Ferro (mg/L)
ABE-26	0,06
ARO-62	0,11
FLO-49	0,56
LNO-42	0,71
CCO-50	5,06
CAI	1,30
SDM-1451	1,18
IPA-28	0,21

Fonte: IGARN, 2011

As concentrações de nitrato em oito (8) amostras cadastradas estão predominantemente dentro do limite aceitável pela Portaria nº 2914/2011 MS (10 mg/L N-NO₃), existindo somente uma (1) que excede este limite, alcançando 56 mg/L N-NO₃ (**Tabela 5.4**). Elevada concentração deste elemento denota poluição mais antiga nas águas e, acima do limite recomendável torna-se extremamente prejudicial à saúde humana, haja vista que estudos mostram uma relação intrínseca com cancer gástrico, abortos precoces e metahemoglobinemia (*Síndrome do bebê azul*), potencialmente fatal para crianças de até quatro (4) meses de vida.

Os demais elementos e parâmetros analisados, a exemplo de sódio, potássio, cálcio, turbidez, cor, bicarbonato etc, situam-se predominantemente dentro dos padrões admissíveis para águas potáveis, segunda a Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde do Brasil.

Tabela 5.. Concentrações de nitrato nas águas subterrâneas do Piranhas – Açú

Local/Poço	Nitrato (mg/L N-NO ₃)
ABE-26	0,61
ARO-62	56,80
FLO-49	0,16
LNO-42	0,75
CCO-50	0,09
CAI	0,50
SDM-1451	7,37
IPA-28	0,22

Fonte: IGARN, 2012

No projeto desenvolvido pela CPRM/UFRN/FINEP (2007a), a caracterização qualitativa das águas subterrâneas é apresentada com base nos resultados das análises físico-químicas de amostras da água coletadas em Dezembro/2005 de 63 poços tubulares captando o Aquífero Açú, três (3) poços no Aquífero Jandaira e dois (2) poços no Aquífero Fraturado.

Para o Açú, o pH variou entre 4,3 e 8,6, com média de 5,7, mostrando um caráter que tende para águas ácidas, ocorrendo casos de águas básicas que correspondem as águas sob influência das rochas carbonáticas. A condutividade elétrica (CE) variou de 198,6 µS/cm a 6490,0 µS/cm, com média de 1181,9 µS/cm. Os Sólidos Totais Dissolvidos oscilaram de 101,0 mg/L a 3450,0 mg/L, com média de 597,9 mg/L e o cloreto variou de 14,8 mg/L a 2244,2 mg/L, com média de 302,2 mg/L. Esses resultados permitem classificar as águas do Aquífero Açú na área como de baixa a alta salinidade. A classificação iônica das águas no Diagrama de Piper (**Figura 5.3**), permite visualizar águas predominantemente Cloretadas Sódicas a Mistas-Mistas para o Açú, Bicarbonatadas Cálcicas para o Jandaira e Cloretadas Sódicas para o Fraturado (Cristalino).

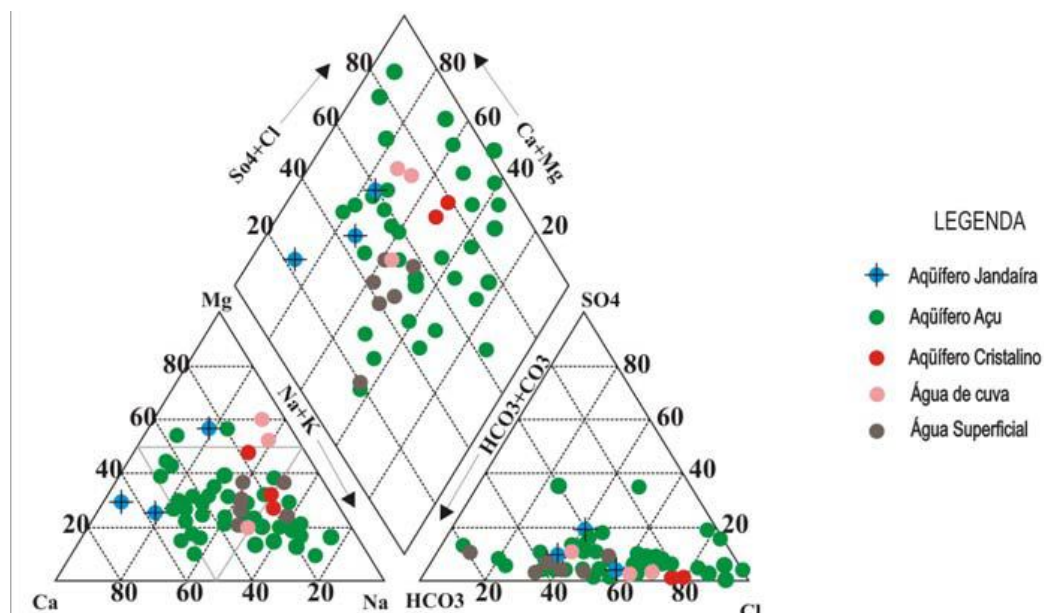


Figura 5.. Classificação iônica das águas subterrâneas no Diagrama de Piper (Fonte: CPRM/UFRN/FINEP, 2007a).

6. CONCLUSÕES

6. CONCLUSÕES

6.1. Disponibilidades Hídricas Superficiais

As conclusões do presente estudo de vazões regularizadas podem ser separadas em duas dimensões: a primeira, deve ser relativa a uma crítica do processo de modelagem em si, das vazões regularizadas pelos reservatórios estratégicos. A segunda, deve se referir aos resultados obtidos em termos de águas superficiais disponíveis para a bacia do Piranhas-Açu.

6.1.1. *Conclusões sobre o Processo de Modelagem das Vazões Regularizadas*

A maioria dos reservatórios estratégicos da bacia do Piranhas-Açu foi objeto de estudo de vazões regularizadas em pelo menos dois estudos anteriores: o Projeto de Transposição das Águas do Rio São Francisco (PISF) e os Planos Estaduais de Recursos Hídricos (PERH's) dos dois estados, Paraíba e Rio Grande do Norte.

O processo de modelagem em todos os estudos realizados envolveu duas etapas: extensão das séries históricas afluentes aos açudes por um modelo chuva-vazão e, em seguida, a operação isolada ou integrada do reservatório de interesse, por meio de algum algoritmo de balanço hídrico ao nível de reservatório.

Para extensão das séries históricas de vazões afluentes aos açudes foram empregados em cada estudo um modelo chuva-vazão distinto: MODHAC (PISF), SSARR e SMAP-M (PPA).

Para operação dos reservatórios foram empregados outros quatro modelos de simulação: CADILAC, OPERA (PISF), DIPRO e SIMRES (PPA).

A multiplicidade de modelos naturalmente deveria conduzir a diferentes valores para as vazões regularizadas. Além da multiplicidade de modelos, havia diferenças nas séries históricas empregadas nas análises, algumas com mais de 10 anos de defasagem temporal em relação aos dados empregados nas simulações do atual Plano do Piranhas-Açu (PPA).

Também há casos de emprego de diferentes curvas cota x área x volume, uma vez que ambos estados, Paraíba e Rio Grande do Norte, atualizaram a batimetria de alguns reservatórios nos últimos anos em relação aos primeiros estudos. A sequência temporal dos estudos foi: Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte (1998); Projeto de Integração das Águas do Rio São Francisco (2000); Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba (2005); Plano da Bacia do Piranhas-Açu (2013).

Não obstante tantas diferenças metodológicas, conceituais e entre os dados primários empregados nas análises, o que se observou foi a formação de envoltórias de curvas de vazões regularizadas pelos diferentes estudos até bastante próximas entre si.

Em hidrologia, a natureza eminentemente estocástica da ocorrência das chuvas e a complexidade dos fenômenos físicos na geração do escoamento superficial, tornam inevitável o emprego de modelos matemáticos para simulação dos eventos de interesse, que são representações idealizadas da realidade e, portanto, os modelos hidrológicos são eivados do caráter intrínseco da imperfeição.

Não existe, portanto, o modelo “mais correto” e o modelo “mais errado” em hidrologia de reservatórios, pois os algoritmos de simulação são desenvolvidos para atender a diferentes conceituações customizadas para atender às premissas do estudo em questão. É o caso, por exemplo, do conceito de volume de alerta empregado no algoritmo de simulação dos reservatórios pelo Projeto de Integração das Águas do Rio São Francisco.

Observando-se os gráficos das curvas de regularização, pode se constatar que não houve um padrão único de resultado obtido por cada tipo de modelagem empregada, exceto para o caso das modelagens efetuadas para o PERH-PB/2005, que apresentou uma tendência de ser a curva inferior das vazões regularizadas. As modelagens para o PISF e o PPA se alternaram entre ser a curva central das envoltórias ou a curva superior das vazões regularizadas, porém, sem uma tendência nítida e invariável.

Em virtude das implicações técnicas para a gestão das águas da Bacia do Piranhas-Açu, recomenda-se adotar as vazões definidas para o Projeto de Integração do São Francisco, quando estas estiverem disponíveis, como referência para o planejamento das ações do Plano da Bacia do Piranhas-Açu, pelos seguintes motivos:

- As principais intervenções estruturais planejadas e em execução para a bacia do Piranhas-Açu estão parcialmente condicionadas ao Projeto de Integração das Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional, atualmente em implantação pelo Ministério da Integração Nacional, as quais são obras definitivas já licitadas em pleno andamento sob a responsabilidade do Governo Federal;
- Uma vez que as vazões regularizadas definidas no PISF tem repercussão, não somente na Bacia do Piranhas-Açu, mas em todas as bacias dos demais estados do nordeste receptoras do Projeto de Integração do São Francisco, seria inoportuno e contraproducente considerar vazões diferentes daquelas indicadas no PISF para qualquer tipo de planejamento ou ação programada para a bacia, em virtude dos potenciais conflitos resultantes;

6.1.2. Conclusões sobre os Resultados Obtidos para as Águas Superficiais na Bacia do Piranhas-Açu

A **Tabela 2.79** apresenta o sumário das vazões regularizadas agrupadas por Unidade de Planejamento. Os reservatórios da bacia do Piranhas-Açu apresentam uma vazão regularizada contínua, ao nível de garantia de 95%, da ordem de 38,62 m³/s, representando um volume anual regularizável de 1.218,01 hm³/ano.

As sub-bacias do Seridó e Piancó apresentam o maior número de açudes segundo as Unidade de Planejamento, 14 açudes ao todo. As bacias com menor disponibilidade hídrica são as do Pataxó e Bacias Difusas do Baixo Piranhas. Entretanto, esta última está situada a jusante do açude Armando Ribeiro Gonçalves, o maior reservatório da bacia e com maior capacidade de regularização. Assim, as bacias difusas do baixo Piranhas apresentam uma falsa ideia de vazão hídrica. A mais deficitária é a do Pataxó.

É necessário realizar estudos do nível de saturação da açudagem nas bacias do Seridó e Piancó, para as quais se sugere a programação de um estudo específico a ser inserido dentre os estudos futuros da fase de Programação do Plano da Bacia do Piranhas-Açu.

6.2. Disponibilidades Hídricas Subterrâneas

Do exposto no decorrer da temática versando sobre as águas subterrâneas da Bacia Piranhas – Açu, conclui-se que:

- Geologicamente a área é representada predominantemente (86%) pelas rochas do embasamento cristalino (Ígneas e metamórficas) e, secundariamente (14%) pelas rochas sedimentares clásticas (Formação Açu – Bacia Potiguar, Formação Barreiras, rochas sedimentares da Bacia do Rio do Peixe, coberturas recentes e aluviões) e cársticas, sendo estas últimas os litótipos da Formação Jandaíra, Bacia Potiguar;
- Hidrogeologicamente, existem três (3) Domínios Hidrogeológicos: Cristalino (86%), Clástico (11%) e Cárstico (3%), sendo que os domínios sedimentares (Clástico e Cárstico) ocupam predominantemente as Unidades de Planejamento (UP) I (Bacias Difusas do Baixo Piranhas) e II (Pataxó); predominantemente os aquíferos são livres e rasos, exceção para o Açu, com recarga pluviométrica e tendo como exutórios a evapotranspiração, drenagens efluentes e poços (exutório artificial);
- Na Bacia Piranhas – Açu estão cadastrados no SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas da CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 7.975 pontos d'água, sendo 7.077 poços tubulares (88,7%), 865 poços manuais (Escavado) e 33 fontes naturais; destes, por estados tem-se: na Paraíba (PB) o meio Poroso possui 1575 e o Fissural tem 3829 pontos; o Rio Grande do Norte (RN) possui no meio Poroso 249 pontos, o Fissura possui 1236 e o Cárstico detém 63. Ressalta-se que 194 (PB) e 839 (RN) pontos não possuem dados de localização;
- Dos dados relativos a evolução da construção de poços (1221 no RN e 4020 na PB) desde o ano de 1940 na PB e de 1920 no RN, conclui-se que existe um crescimento acentuado na construção de poços a partir da década de 90, haja vista que no intervalo de 1990 a 2003 o RN possui 76,5% das obras e para o mesmo período o RN detém 75,7%;
- As águas subterrâneas na Bacia Piranhas-Açu são, em sua maior parte, freáticas (rasas), com 83,15% dos dados de nível estático (NE) situando-se a profundidades inferiores a 20m. Isto se deve, fundamentalmente, a predominância de poços construídos no Domínio Cristalino, apesar da profundidade do NE chegar a 111m ao norte da Bacia, âmbito do Domínio Clástico; relativo a profundidade existem 4239 dados, e o intervalo de 20 a 50m é predominante (60,58%), novamente predominante àquelas existentes no Cristalino, ressaltando-se que a profundidade de poços alcança até 2130m no Cárstico; relativo a vazão, existem somente 1,52% de dados, em que predominam vazões inferiores a 4,8 m³/h (49,1%) reflexo maior dos poços no Cristalino e poços rasos, inferiores a 60m;
- Em relação ao uso, conclui-se que existe uma leve predominância de poços ativos na Bacia Piranhas – Açu (59,4% na PB e 57,2% no RN) e direcionados predominantemente para usos múltiplos (41,47%) e exclusivamente doméstico (36%), embora 17,7% das fichas não possuam informações e, assim, acredita-se que a somatória destas informações mais outros usos que implicam em doméstico, o uso da água subterrânea para fins domésticos alcance 53,7%;
- Os dados relativos a rede de monitoramento implantada na Bacia do Piranhas – Açu pela CPRM-Serviço Geológico do Brasil e governos estaduais mostra que são poucos os poços ou piezômetros construídos com esta finalidade, inferiores a 10 obras, embora no

Projeto desenvolvido em 2007 pela CPRM/UFRN/FINEP seja proposto o monitoramento de 81 poços, já localizados e com dados criteriosamente analisados;

- Existem pouquíssimas análises físico-químicas e bacteriológicas completas para as águas subterrâneas do Piranhas – Açú disponíveis para este projeto. Das análises existentes em outros projetos citados no decorrer do texto, conclui-se que as águas subterrâneas da Bacia do Rio do Peixe são predominantemente Bicarbonatadas Sódicas, e do Açú e Jandaíra são Misturas-Misturas a Cloretadas Sódicas, enquanto as do Cristalino são Cloretadas Sódicas. Dados de Sólidos Totais Dissolvidos – STD (6066 dados) obtidos do SIAGAS/CPRM mostram que, segundo a Portaria nº 2914/2011 MS, 66,5% delas são aptas ao consumo humano (STD de até 1000 mg/L);
- Não existem dados hidrogeológicos seguros tecnicamente, disponíveis neste projeto, para o cálculo das reservas e recursos exploráveis de águas subterrâneas na Bacia Piranhas – Açú. No Projeto “Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste do Brasil”, Tópico “Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe” desenvolvido pela CPRM em parceria com a Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/PB (CPRM/UFCG/FINEP, 2008), são mostrados valores do potencial subterrâneo e recursos exploráveis dos aquíferos nas Bacias do Rio Piranhas e do Rio do Peixe (**Tabela 6.1**).

Tabela 6.. Potencial hídrico subterrâneo e recursos subterrâneos exploráveis nas Bacias do Rio Piranhas e Rio do Peixe

Bacia Hidrográfica	Potencial Subterrâneo (Hm ³ /ano)	Re (Hm ³ /ano)	Sistema Aquífero
Rio Piranhas	108,11	100,30	Aluvionar e Rio do Peixe
Alto Piranhas	9,49	13,26	Aluvionar e Rio do Peixe
Médio Piranhas	7,03	25,56	Aluvionar
Rio do Peixe	7,68	2,17	Aluvionar
Sub-bacia do Rio Piancó	62,07	41,51	Aluvionar
Sub-bacia do Rio Espinharas	9,65	11,07	Aluvionar
Sub-bacia do Rio Seridó	12,19	6,63	Aluvionar

Fonte: TC/BR – Tecnologia e Consultoria Brasileira S. A. (in CPRM/FINEP, 2008)

Para a bacia do Piranhas-Açú a Disponibilidade Total (Disponibilidade Efetiva (De) + Disponibilidade Instalável (Di)) resulta em uma oferta hídrica subterrânea de 0,141 x 106 m³/ano, ou seja, 141 milhões de litros/ano distribuídos nas UP's Bacias difusas do Baixo Piranhas (UP1), Pataxó (UP2) e Médio Piranhas Potiguar (UP4) conforme a **Tabela 6.2**.

Tabela 6.. Disponibilidade hídrica dos poços no Domínio Hidrogeológico Cárstico na Bacia Piranhas- Açú

Domínio Hidrogeológico Cárstico na Bacia Piranhas - Açú			
Unidade de Planejamento (UP)	Área (km²)	Disponibilidade Total (m³/ano x 10⁶)	Disponibilidade Total (L/ano x 10⁶)
Bacias Difusas do Baixo Piranhas (UP1)	851,0	0,100	100
Pataxó (UP 2)	341,0	0,040	40
Médio Piranhas Potiguar (UP 4)	3,7	0,001	1
TOTAL	1195,7	0,141	141

6.3. Qualidade das Águas

O diagnóstico da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açú baseou-se, primordialmente, na qualidade da água dos grandes açudes públicos presentes na bacia. Na bacia foram analisados as águas dos 47 reservatórios com capacidade superior a 10 hm³ e de alguns trechos de rios, com base nos dados de monitoramento realizado pela SUDEMA/PB entre 2007 e 2011 e pelo IGARN/RN entre 2008 e 2011.

As cargas poluidoras potenciais dos esgotos domésticos de toda a Bacia do Rio Piranhas-Açú foram estimadas em 20.074 ton/ano de DBO, sendo que cerca de 70% dessas cargas foram provenientes das quatro UPs com maiores populações humanas: Seridó, Peixe, Espinharas e Piancó. Quanto às cargas poluidoras potenciais de efluentes da pecuária foram estimadas em 76.300 ton/ano de DBO, sendo que 50% dessas cargas oriundas da pecuária foram provenientes das duas UPs com os maiores rebanhos: Seridó e Piancó. Esses resultados mostram que a contribuição da pecuária para a poluição dos rios e açudes da bacia é muito maior do que a contribuição dos esgotos domésticos, mesmo assumindo que apenas 10% dos efluentes da pecuária atingem os corpos d'água e que 100% dos esgotos domésticos urbanos são lançados diretamente nos rios e açudes sem qualquer tratamento, conforme metodologia descrita. Ressalta-se que as fontes de nitrogênio e fósforo na bacia do Seridó (e em toda a bacia do Rio Piranhas-Açú) são predominantemente difusas e mais difíceis de serem controladas e reguladas do que as fontes pontuais oriundas de esgotos domésticos urbanos.

Os valores médios de turbidez e pH da água de todos os açudes estiveram dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA no 357/05 para águas doces Classes 1 ou 2. Observa-se que em nenhuma coleta foi observado valor de pH inferior a 6,0 ou superior a 9,0 nos açudes monitorados. Entretanto, valores de turbidez superiores a 100 UNT foram ocasionalmente observados nos açudes Boqueirão e Caldeirão de Parelhas, Gargalheiras, Pilões, Santa Luzia e Zangalheiras.

As concentrações médias de oxigênio dissolvido estiveram dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005 para águas doces Classe 1 ou 2, em quase todos os açudcom exceção do açude Pilões, com concentração média de oxigênio dissolvido igual a 4,72 mg/L. Entretanto, concentrações inferiores a 4 mg/L foram ocasionalmente observadas em, pelo menos, uma coleta nos açudes Tapera, São Gonçalo, Santa Inês, Saco, Pilões, Passagem das Traíras, Mulungu, Lagoa do Arroz, Jatobá, Escondido, Engenheiro Ávido, Coremas Mãe d'água, Carneiro, Carnaúba, Cachoeira dos Cegos, Caldeirão de Parelhas, Bruscas, Boqueirão de Parelhas e Bartolomeu

Os valores médios de DBO_{5,20} estiveram acima do limite estabelecido pela Resolução Conama 357/2005 para águas de classe 2 em 30% dos pontos e para águas de classe 3 em 11% desses pontos, estando todos eles localizados no RN.

As concentrações médias de coliformes termotolerantes estiveram dentro dos limites estabelecidos pela mesma resolução para águas doces Classe 1 ou 2, com exceção dos açudes Engenheiro Ávidos e Riacho dos Cavalos.

As concentrações de fósforo total estiveram acima do limite estabelecido pela resolução Conama 357/2005 para águas doces de Classe 2 em 89% dos açudes monitorados. Em 80% deles, os valores de fósforo total estiveram até mesmo acima do limite de 0,05 mg/L, estabelecido pela resolução para águas doces de Classe 3.

Os valores médios de IQA observados na bacia mostram que 88% dos açudes amostrados possuem água com uma qualidade considerada boa e 12 % dos açudes possuem água com uma qualidade considerada excelente.

Os resultados do IET médio, na bacia do Piranhas-Açu, permitiram classificar 28 pontos (60%) como hipereutróficos, quatro pontos (8%) como supereutróficos, quatro pontos (8%) como eutróficos e dez pontos (21%) como mesotróficos.

Em um diagnóstico realizado entre os anos de 2002 e 2004 nos açudes Armando Ribeiro Gonçalves, Boqueirão de Parelhas, Gargalheiras, Itans, Passagem das Traíras e Santo Antônio, já havia sido constatado que todos esses reservatórios apresentavam características de intensa eutrofização, tais como elevadas concentrações de fósforo total e clorofila a na água e altas densidades de cianobactérias potencialmente produtoras de toxinas (Eskinazi-Sant'Anna et al. 2006).

No açude Armando Ribeiro Gonçalves, um monitoramento realizado em 10 pontos de amostragem entre 2006 e 2007 revelou um gradiente longitudinal nas concentrações de fósforo total na água, as quais decresceram de 0,150 a 0,080 mg/L no sentido da montante à jusante do reservatório (Mosca 2008). Entretanto, as concentrações de fósforo total na água em todos os pontos e meses de amostragem estiveram acima do limite de 0,05 mg/L estabelecido pela resolução Conama 357/2005 para águas doces de Classe 3 e como salientado no relatório, definido como o limite crítico para deflagrar a eutrofização em açudes de regiões semiáridas (Thornton & Rast 1993).

Devido a sua grande importância para o Estado do Rio Grande do Norte, o estado trófico do reservatório Armando Ribeiro Gonçalves, vem sendo monitorado por sensoriamento remoto através de um projeto de cooperação internacional entre o IRD e a ANA. Os resultados mostraram que no período de 2000 a 2009 o reservatório esteve mais de 80% do tempo no estado eutrófico ou hipereutrófico com exceção dos anos de 2004, 2008 e 2009 quando houve vertimento do reservatório e renovação da massa de água. Entretanto, os resultados também mostram a elevada resiliência do estado eutrófico/supereutrófico, pois em 2005, um ano após a grande cheia de 2004, o estado trófico do reservatório já havia voltado aos níveis de 2003 permanecendo 100% do tempo eutrófico ou supereutrófico.

Os resultados para os metais pesados mostraram que as concentrações médias de cobre dissolvido e chumbo total em todos os açudes estiveram acima dos limites máximos permitidos pela resolução CONAMA 357/2005 para águas doce Classe 2.

Salienta-se que além da eutrofização, a contaminação por metais pesados é outro problema que contribui para a perda de qualidade das águas superficiais da bacia.

De modo geral a poluição das águas superficiais da bacia tem como origem diversas fontes, associadas ao tipo de uso e ocupação do solo, dentre as quais se destacam os efluentes domésticos e industriais e a carga difusa urbana e agropastoril.

Duas das principais fontes de poluição das águas superficiais da bacia são os esgotos domésticos e os efluentes da pecuária. As cargas poluidoras potenciais dessas duas fontes mostraram que a contribuição da pecuária é muito maior do que a contribuição dos esgotos domésticos para a poluição das açudes e rios da bacia.

Ainda assim, a carga poluidora dos esgotos domésticos poderia ser bastante reduzida se a infraestrutura de saneamento fosse ampliada. A cobertura dos serviços de coleta de esgotos sanitários se restringe a cerca de 6% da população total da bacia e grande parte dos esgotos coletados não recebe qualquer tipo de tratamento. Os 94 % restantes dos esgotos sanitários são lançados diretamente na rede de drenagem natural ou no sistema de drenagem urbana, que por sua vez são direcionados aos rios ou riachos e aos açudes. O lançamento de esgotos domésticos e dos efluentes da pecuária na bacia adquire maior significância quando se considera o caráter intermitente dos seus cursos d'água, cuja capacidade de autodepuração de esgotos é praticamente nula.

No caso específico dos açudes, aparece como fator agravante o elevado tempo de residência da água nesses ambientes, que como já foi mencionado facilita os processos de eutrofização e salinização das águas represadas. Outro problema urbano é a disposição inadequada de resíduos sólidos que jogados às margens dos rios e dos canais, ou diretamente em suas águas, constitui-se em cargas poluidoras orgânicas ou tóxicas significativas.

Dentre as atividades industriais poluidoras na bacia destaca-se a produção de petróleo e gás natural na região do Baixo Açu. Há também uma proliferação de indústrias ceramistas nas regiões do Seridó e do Baixo Açu, que além de desmatarem a Caatinga para produção da lenha utilizada como combustível geram poluentes atmosféricos através da combustão da lenha. Embora a indústria alimentícia seja ainda incipiente na bacia, o setor de beneficiamento de produtos derivados do leite é importante na região do Seridó e gera efluentes orgânicos com potencial poluidor. O setor têxtil também assume posição de destaque na região do Seridó e gera efluentes químicos oriundos de processos de lavagem e fixação de cores que contém resíduos orgânicos e metais pesados, como o acetato de chumbo. Os efluentes oriundos de matadouros também contribuem para a poluição dos corpos d'água na bacia.

A bacia ainda detém importantes jazidas de minerais de interesse econômico. As atividades de mineração são praticadas intensamente na região do Seridó (scheelita e pegmatitos) e do baixo Açu (mármore e granitos), além da pulverização espacial de pequenos garimpos sazonais, principalmente na região do Seridó. Nesta região, a atividade minerária é praticada principalmente de forma extensiva, havendo garimpos de minérios de rochas calcárias, de tactitos (scheelita, principalmente), de rochas pegmatíticas hospedeiras de tantalitas, cassiteritas e de gemas preciosas e semipreciosas (berilo, turmalinas, águas marinhas, etc.) o que a torna uma das áreas mais degradadas da bacia, já que a atividade minerária está associada a desmatamentos para fins diversos, destruindo a cobertura vegetal e poluindo os recursos hídricos.

7. BIBLIOGRAFIA

7. BIBLIOGRAFIA

ANA – Agência Nacional de Águas (2005). Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil. 179 p.

ANA – Agência Nacional de Águas (2012). Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil. 264 p.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (2003). Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo.

Costa, I.A.S, Azevedo, S.M.F.O., Senna, P.A.C., Bernardo, R.R., Costa, S.M., Chellappa, N.T. (2006). Occurrence of toxin-producing cyanobacteria blooms in a Brazilian semi-arid reservoir. *Brazilian Journal of Biology* 66: 29-41.

Eskinazi Sant´Anna, E. M., R. F. Panosso, J. L. Attayde, I. A. S. Costa, C. M. Santos, M. F. F. Araújo, J. L. S. Melo. 2006. *et al.* (2006). Águas potiguares: oásis ameaçados. *Ciência Hoje* 39 (233): 68-71.

Lamparelli, M. C. (2004). Grau de trofia em corpos d´água do Estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia da USP. 235p.

Martinez, J.M.; Ventura, D.; Vieira, M.R.; Attayde, J.L.; Bubel, A.P.; Coimbra, M.R. and Oliveira, E. (2010). Satellite-based monitoring of reservoir eutrophication in the Brazil semi-arid region. *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. pp 5247-5254.

Mosca, V.P. (2008). Eutrofização do reservatório Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves no Rio Grande do Norte: implicações para o abastecimento público e para a piscicultura intensiva em tanques-rede. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia da UFRN. 73 p.

Panosso, R.; Costa, I.A.S.; Souza, N.R.; Attayde, J.L.; Cunha, S.R.S. & Gomes, F.C.F. (2007). Cianobactérias e cianotoxinas em reservatórios do Estado do Rio Grande do Norte e o potencial controle das florações pela tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Oecologia Brasiliensis*, 11(3):433-449.

Paulino, W.D. & Teixeira, F.J.C. (2012). A questão ambiental e a qualidade da água nas bacias hidrográficas do Nordeste. In: ANA 2012 A questão da água no Nordeste. 436 p.

Silva, C.A.R., P.S. Rainbow, B.D. Smith & Z.L. Santos. (2001). Biomonitoring of trace metal contamination in the Potengi estuary, Natal (Brazil), using the oyster *Crassostrea rhizophorae*, a local food source. *Water Research*. 35: 4072-4078.

Silva, C.A.R.; Rainbow, P.S. & Smith, B.D. (2003). Biomonitoring of trace metal contamination in mangrove-lined Brazilian coastal systems using the oyster *Crassostrea rhizophorae*: comparative study of regions affected by oil, salt pond and shrimp farming activities. *Hydrobiologia* 501: 199-206.

Thornton, J.A. & Rast, W. (1993). A test of hypothesis relating to the comparative limnology and assessment of eutrophication in semi-arid man-made lakes. In: Straskrabra, M., Tundisi, J.G. & Duncan, A. (eds.) Comparative Reservoir Limnology and Water Quality Management, 1-24.

Vasconcelos, J.F; Barbosa, J.E.L.; Diniz, C.R., Ceballos, B.S.O. (2011). Cianobactérias em reservatórios do Estado da Paraíba: ocorrência, toxicidade e fatores reguladores. Boletim da Sociedade de Limnologia 39 (2):1-20.

Vasconcelos, V.H.F. (2011). Emissões naturais e antrópicas de nitrogênio e fósforo para os principais açudes da bacia hidrográfica do Rio Seridó, RN. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia da UFRN. 62p.

ALMEIDA, F. F. M.; BHUSUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. & FUCK, R. A. – 1977 - Província estrutural brasileira. Atlas VII. Simpósio de Geologia do Nordeste. SBG. p363 – 991.

ALBUQUERQUE, J.P.T.; REGO, J.C.; SCHUSTER, H.D.M.; KUNZLER, J.C.S.; MARACAJÁ, J.R.A.; GALVÃO, M.J.T.G.; SRINIVASAN, V.S. – 2007 – Características do escoamento de água subterrânea na Bacia Sedimentar do Rio do Peixe. VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. In CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 2007b - Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe – PB. Relatório Integrado. Rede Cooperativa de Pesquisa Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro. CDROM. 13p.

ARARIPE, P. T. & FEIJÓ, F. P. – 1994 - Bacia Potiguar. Boletim Geociências PETROBRAS. Rio de Janeiro, 8 (1): p127-141.

BERTANI, R. T.; COSTA, I. G. & MATOS, R. M. D. – 1990 - Evolução tectono-sedimentar, estilo estrutural e habitat do petróleo na Bacia Potiguar. In: PETROBRAS (ed.). Origem e Evolução de Bacias Sedimentares. Rio de Janeiro, p291-310.

CARVALHO JÚNIOR, E. R. – 1999 - Caracterização Hidrogeológica da Região Oeste de Apodi-RN. Departamento de Geologia/UFRN. Relatório de Graduação. Natal-RN. 85p.

CAVALCANTE, I.N. – 1998 - Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada de recursos hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará. Tese de Doutorado. IG/USP. São Paulo – SP. 167p.

SRH/COGERH - Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará/Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará – 2009 – Plano de Gestão Participativa dos Aquíferos da Bacia Potiguar, Estado do Ceará. Relatório Final do Projeto. CDROM. Fortaleza – Ceará.

COSTA, W.D. – 1997 – Uso e gestão de água subterrânea. In: FEITOSA, F.A.C. & MANUEL FILHO, J. (1997) – Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM. 1ª Edição. Cap. 14. p341 – 365.

COSTA, A.M. – 2002 - Zoneamento Hidroquímico do Aquífero Cristalino do Rio Grande do Norte. PPGeo/CCET/UFRN. Dissertação de Mestrado. Natal - RN.

COSTA, D. C. da – 2008 - Modelagem do Escoamento no Sistema Piranhas-Açu utilizando o Modelo Navmo. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental/Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. 112p.

CPRM/Serviço Geológico do Brasil – 2005 - Atlas Digital dos Recursos Hídricos Subterrâneos dos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Projeto “Cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea”. CDROM.

CPRM/Serviço Geológico do Brasil – 2007a - Hidrogeologia do Aquífero Açu na Borda Leste da Bacia Potiguar: Trecho Upanema - Afonso Bezerra. Relatório Integrado. Rede Cooperativa de Pesquisa Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro. 243p.

CPRM/ Serviço Geológico do Brasil – 2007b - Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe – PB. Relatório Integrado. Rede Cooperativa de Pesquisa Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro. 214p.

CPRM/Serviço Geológico do Brasil – 2012 – Recursos hídricos subterrâneos/Levantamento de Recursos Hídricos Subterrâneos – Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas – RIMAS/Relatório Diagnóstico Aquífero Açu – Bacia Sedimentar Potiguar. Vol. 2. 33p.

CEBALLOS, B.S.O. de; ALBUQUERQUE, J.P.T.; MARACAJÁ, J.R.A.; PINHEIRO, K.M.; GALVÃO, M.J.T.G.; GUIMARÃES, A.O.; SRINIVASAN, V.S. – 2007 – Distribuição da qualidade da água subterrânea da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe. In CPRM/ Serviço Geológico do Brasil, 2007b - Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe – PB. Relatório Integrado. Rede Cooperativa de Pesquisa Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro. CDROM. 20p.

FERNANDES, R.O.; PINHEIRO, K.M.; REGO, J.C.; GALVÃO, C.O. – 2007 – Caracterização hidrogeológica, hidroquímica e sanitária da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe. In CPRM/ Serviço Geológico do Brasil, 2007b - Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe – PB. CDROM. Relatório Integrado. Rede Cooperativa de Pesquisa Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro. 10p.

FERNANDES, R.O.; NÓBREGA, R.L.B.; GALVÃO, C.O.; CEBALLOS, B.S.O. de – 2007 – Qualidade das águas subterrâneas da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe e seu uso na irrigação. In CPRM/ Serviço Geológico do Brasil, 2007b - Hidrogeologia da Bacia Sedimentar do Rio do Peixe – PB. CDROM. Relatório Integrado. Rede Cooperativa de Pesquisa Comportamento das Bacias Sedimentares da Região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro. 4p.

GURGEL, C. A. P. – 2000 - Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Açu na Região Norte de Caraúbas - RN. Departamento de Geologia/UFRN. Relatório de Graduação. Natal-RN. 97p.

GAUW, D.W. – 2004 - Análise Morfodinâmica do Canal Fluvial e Caracterização Faciológica e Geométrica dos Depósitos Recentes do Rio Açu. UFRN. Relatório de Graduação. Natal - RN.

IPT – 1982 - Estudo Hidrogeológico Regional Detalhado do Estado do Rio Grande do Norte - Relatório 15795 Vol I.

LIMA, E. A. de; NASCIMENTO, D. A. do; DOURADO, T. D. de C.; BRANDÃO, L. C. R.; BERALDO, V. J. – 2006 - Mapeamento Hidrogeológico das Folhas Sb.24-X-B/-X-D - Areia Branca/Mossoró. ANAIS. ABAS. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Curitiba - Paraná. p1 - 13.

MAIA, S. M. C. – 2001 - Caracterização Hidrogeológica da Região Oeste de Upanema-RN. Departamento de Geologia/UFRN. Relatório de Graduação. Natal - RN.

MEDEIROS, W. E., JARDIM DE SÁ, E. F., MEDEIROS, V. C., LUCENA, L. R. F. – 2001 - Estrutura Geológica do Aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar entre Apodi e Upanema, RN. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica. Relatório Técnico do Projeto: Recursos Hídricos Subterrâneos da Formação Açú aflorante na borda sul da Bacia Potiguar, RN (Faixa Upanema-Apodi).

MELO, J. G. & STEIN, P. – 2003 - Recursos Hídricos Subterrâneos da Formação Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar-RN, Brasil, Faixa Upanema-Apodí. Fundação de Pesquisa e Cultura da UFRN - FUNPEC (Convênio CAERN – FUNPEC - UFRN). Natal - RN.

MINISTÉRIO DA SAÚDE DO BRASIL/SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE - 2011 -PORTARIA MS nº 2914/2011. Coordenação - Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Brasília: Editora do Ministério da Saúde 2011. 34p.

MUNIZ, H.C. – 1986 - Geologia da Área de Carnaubinha- Leste de Upanema-RN- Borda Sul da Bacia Potiguar Emersa. Departamento de Geologia/UFRN. Relatório de Graduação. Natal - RN.

ROCHA FILHO, O. M. – 1992 - Mapeamento Geológico e Análise Morfotectônica do Médio Rio Açú. UFRN. Relatório de Graduação. Natal - RN. 92p.

ROCHA, D.; AMARAL C. – 2006 - Hidrogeologia da Bacia do Rio do Peixe -Geologia da Bacia do Rio do Peixe. Serviço Geológico do Brasil/CPRM. Recife - PE.

SOUZA, S. M. – 1982 - Atualização da litoestratigrafia da bacia Potiguar. In SBG/BA-SE, Congresso Brasileiro de Geologia, 32, Salvador, Anais. SBG. p509-592.

SECRETARIA DE ESTADO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO RIO GRANDE DO NORTE/HIDROSERVICE ENGENHARIA LTDA – 1998 - Plano Estadual de Recursos Hídricos – Relatório Síntese. <http://www.serhid.m.gov.br>.

TC/BR – Tecnologia e Consultoria Brasileira S. A. – 2012 - Caracterização da Oferta e da Demanda Hídrica no Estado da Paraíba. Relatório Técnico do Projeto. Disponível em:www.aesa.pb.gov.br/perh/.CaracOferDemHidricaPB.pdf. Acesso em Julho de 2012.

VASCONCELLOS, E.P., LIMA NETO, F. F. & ROOS, S. – 1990 - Unidades de correlação da Formação Açú-Bacia Potiguar. In: SBG/Núcleo Nordeste. Congresso Brasileiro de Geologia, 36, Natal. Anais. SBG. 1:227- 240p.

VASCONCELOS, M. B. – 2006 - Hidrogeologia do Aquífero Açú na Borda Sul da Bacia Potiguar; Trecho Upanema - Afonso Bezerra. Dissertação de Mestrado. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geociências, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal - RN. 166p.

VASCONCELOS, M.B.; LUZ, C.A. da; CORREIA FILHO, F.L.; SOARES FILHO, A.R. – 2010 – Monitoramento de aquíferos: considerações metodológicas e situações no Nordeste do Brasil. XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. ABAS. São Luis/MA. CDROM. 11p.

8. ANEXOS

8.1. MAPA DE FALHAS

8.2. CURVAS DE COTA ÁREA VOLUME DOS RESERVATÓRIOS ESTRATÉGICOS

8.3. MEMÓRIAS DE CALCULO REFERENTES A DISPONIBILIDADE HÍDRICA DOS RESERVATÓRIOS ESTRATÉGICOS