



Plano de Trabalho 173 – Apoio às Ações do Programa Água Doce.

Projeto de Cooperação Técnica PCT BRA/IICA/14/001 de “Implementação de Estratégias e Ações de Prevenção, Controle e Combate Desertificação Face aos Cenários de Mudanças Climáticas e à Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD)”.

Produto **3**. Relatório Técnico contendo proposta de documento com informações dados geológicos e hidrogeológicos assim como dados sociais, geográficos, planilhas de teste de bombeamento e análises físico-químicas de água obtidos nos diagnósticos de comunidades selecionadas pela Coordenação Estadual do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte, devidamente analisados e interpretados para a determinação do potencial hidrodinâmico e hidroquímico da água captada pelo poço escolhido para o abastecimento local, objetivando a determinação de sua capacidade de produção – vazão máxima e vazão recomendada – e possíveis usos além do consumo humano, sendo executado por amostragem no mínimo **5 (cinco) sistemas**, inicialmente nos municípios de Ipanguaçu, Jandaíra e Bento Fernandes referente ao componente Sistemas de Dessalinização, dando subsídios hidrogeológicos para o dimensionamento de sistemas de dessalinização a serem recuperados ou implantados.

CARLOS ALBERTO MARTINS

NATAL, MARÇO DE 2017

Identificação			
Consultor (a) /Autor (a): Carlos Alberto Martins			
Número do Contrato: 116182			
Nome do Projeto			
Projeto de Cooperação Técnica PCT BRA/IICA/14/001 de “Implementação de Estratégias e Ações de Prevenção, Controle e Combate Desertificação Face aos Cenários de Mudanças Climáticas e à Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD)”.			
Oficial/Coordenadora Técnica Responsável: Romélia Moreira de Souza			
Data: 06/03/2017 Local: Brasília			
Classificação			
Temas Prioritários do IICA			
Agroenergia e Biocombustíveis		Sanidade Agropecuária	
Biotecnologia e Biossegurança		Tecnologia e Inovação	
Comércio e Agronegócio		Agroindústria Rural	
Desenvolvimento Rural		Recursos Naturais	X
Políticas e Comércio		Comunicação e Gestão do Conhecimento	
Agricultura Orgânica		Outros:	
Modernização Institucional			
Resumo			
Título do Produto:			
Relatório Técnico contendo proposta de documento com informações, dados geológicos e hidrogeológicos assim como dados sociais, geográficos, planilhas de teste de bombeamento e análises físico-químicas de água obtidos nos diagnósticos de comunidades selecionadas pela coordenação estadual do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte, devidamente analisados e interpretados para a determinação do potencial hidrodinâmico e hidroquímico da água captada pelo poço escolhido para o abastecimento local, objetivando a determinação de sua capacidade de produção – vazão máxima e vazão recomendada – e possíveis usos além do consumo humano, sendo executado por amostragem no mínimo 5 (cinco) sistemas , inicialmente nos municípios de Ipanguaçu, Jandaíra e Bento Fernandes, referente ao componente Sistemas de Dessalinização, dando subsídios hidrogeológicos para o dimensionamento de sistemas de dessalinização a serem			

recuperados ou implantados..

Subtítulo do Produto:

Análise da documentação hidrogeológica disponível em escala municipal e local nas áreas rurais selecionadas pelo Programa Água Doce/RN, relacionadas ao componente Sistema de Dessalinização, para o melhor aproveitamento da água subterrânea na instalação do sistema de dessalinização.

Resumo do Produto:

Conhecimento da hidrogeologia e hidroquímico da fonte hídrica em comunidades selecionadas pelo Programa Água Doce/RN, adequando-a, pelos cálculos da sua capacidade quantitativa e qualitativa, aos objetivos da satisfação das necessidades ditadas pelos usos múltiplos adotados pela população local.

Qual Objetivo Primário do Produto?

Apoiar as ações do Programa Água Doce referente ao desenvolvimento e aplicação prática dos conhecimentos hidrogeológicos na implantação/recuperação de sistemas de dessalinização.

Que Problemas o Produto deve Resolver?

A correta aplicação do conhecimento geológico, hidrogeológico e hidroquímico, em escala municipal e local, da água subterrânea captada por poço tubular para o seu adequado aproveitamento na aplicação dos usos múltiplos, incluído processo de dessalinização, fornecendo aos usuários, técnicos e consultores a base técnica requerida para tal fim.

Como se Logrou Resolver os Problemas e Atingir os Objetivos?

Através da consulta bibliográfica especializada e experiência profissional do consultor, sobretudo na aplicação hidrogeológica prática de campo para o abastecimento por água subterrânea na área rural.

Quais Resultados mais Relevantes?

Aplicação prática dos conhecimentos técnicos da área da hidrogeologia em relação ao aproveitamento adequado da água subterrânea no dimensionamento dos sistemas de dessalinização a serem implantados, considerados os usos múltiplos

historicamente adquiridos pela população carente.

O Que se Deve Fazer com o Produto para Potencializar o seu Uso?

Disponibilizar o produto através da divulgação via internet, análise e a discussão no ambiente técnico do Programa Água Doce com consultores, técnicos e usuários.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 5.1 -	Mapa Geológico de Ipanguaçu – Poços Tubulares	16
FIGURA 5.2 -	Mapa da Área da Comunidade Capivara	18
FIGURA 5.3 -	Capivara - Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983)	26
FIGURA 5.4 -	Capivara - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)	26
FIGURA 5.5 -	Capivara - Diagrama Triangular de Piper	27
FIGURA 5.6 -	Capivara – Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)	27
FIGURA 5.7 -	Mapa da Área do Assentamento ITU	28
FIGURA 5.8 -	Assentamento Itu – Diagrama Circular – Balanço Iônico (Custódio & Llamas, 1983)	36
FIGURA 5.9 -	Assentamento Itu – Diagrama Circular – Balanço Iônico (Logan, 1965)	36
FIGURA 5.10 -	Assentamento Itu – Diagrama Triangular de Piper	37
FIGURA 5.11 -	Assentamento Itu – Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)	37
FIGURA 5.12 -	Mapa da Área da Comunidade Porto	38
FIGURA 5.13 -	Assentamento Porto – Diagrama Circular – Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983)	46
FIGURA 5.14 -	Assentamento Porto – Diagrama Circular – Balanço Iônico (Logan, 1965)	46
FIGURA 5.15 -	Assentamento Porto – Diagrama Triangular de Piper	47
FIGURA 5.16 -	Assentamento Porto – Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)	47
FIGURA 6.1 -	Mapa Geológico de Jandaíra com Poços Tubulares	49
FIGURA 6.2 -	Mapa da Área da Comunidade Tubibal	51
FIGURA 6.3 -	Tubibal - Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983)	58
FIGURA 6.4 -	Tubibal - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965) .	58
FIGURA 6.5 -	Tubibal - Diagrama Triangular de Piper	59
FIGURA 6.6 -	Tubibal - Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)	59
FIGURA 7.1 -	Mapa Geológico de Bento Fernandes e Poços Tubulares ...	61
FIGURA 7.2 -	Mapa da Área de Espinheiro I – Bento Fernandes/RN	63
FIGURA 7.3 -	Assentamento Espinheiro I - Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983)	70
FIGURA 7.4 -	Tubibal - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965) .	70
FIGURA 7.5 -	Assentamento Espinheiro I - Diagrama de Piper	71
FIGURA 7.6 -	Assentamento - Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 5.1 –	Comunidade Capivara - Teste de Bombeamento	21
TABELA 5.2 –	Comunidade Capivara - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos	23
TABELA 5.3 -	Capivara - Análise físico-química da água do poço	25
TABELA 5.4 –	Assentamento Itu –. Teste de Bombeamento	30
TABELA 5.5 –	Assentamento Itu - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos	32
TABELA 5.6 –	Assentamento Itu - Análise físico-química da água do poço	35
TABELA 5.7 –	Assentamento Porto - Teste de Bombeamento	40
TABELA 5.8 –	Assentamento Porto - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos	42
TABELA 5.9 –	Assentamento Porto - Análise físico-química da água do poço	45
TABELA 6.1 –	Tubibal – Teste de bombeamento	52
TABELA 6.2 –	Tubibal - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos	55
TABELA 6.3 –	Tubibal - Análise Físico-química da água do poço	57
TABELA 7.1 –	Assentamento Espinheiro I - Teste de Bombeamento	64
TABELA 7.2 –	Assentamento Espinheiro I - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos	66
TABELA 7.3 –	Assentamento Espinheiro I - Análise físico-química da água do poço	69

LISTAS DE GRÁFICOS

GRÁFICO 5.1 – Comunidade Capivara - Curva Vazão Específica q ($m^3/h/m$) x Tempo t (min)	22
GRÁFICO 5.2 – Assentamento Itu - Curva Vazão Específica q ($m^3/h/m$) x Tempo t (min)	31
GRÁFICO 5.3 – Porto -. Curva Vazão Específica q ($m^3/h/m$) x Tempo t (min)	41
GRÁFICO 6.1 – Tubibal - Curva Vazão Específica q ($m^3/h/m$) x Tempo t (min)	53
GRÁFICO 7.1 – Assentamento Espinheiro I - Curva Vazão Específica q ($m^3/h/m$) x Tempo t (min)	65

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
2.	CONTEXTUALIZAÇÃO	13
3.	OBJETIVO	13
4.	METODOLOGIA	14
5.	MUNICÍPIO DE IPANGUAÇU	15
5.1	Caracterização Geográfica	15
5.2	Fisiografia	15
5.3	Geologia	15
5.4	Hidrogeologia	16
5.4.1	Cadastro de Poços	17
5.4.2	Comunidade Capivara	17
5.4.2.1	O Poço Tubular	18
5.4.2.2	Interpretação do Teste de Bombeamento	19
5.4.2.2.1	Cálculo da Vazão Máxima de Exploração (Qme)	19
5.4.2.2.2	Cálculo da Vazão Recomendada (Qr)	20
5.4.2.2.3	Dimensionamento da Bomba do Poço	23
5.4.2.3	Hidroquímica	24
5.4.3	Assentamento Itu	28
5.4.3.1	O Poço Tubular	29
5.4.3.2	Interpretação do teste de bombeamento	29
5.4.3.2.1	Vazão Máxima de Exploração - Qme	31
5.4.3.2.2	Vazão Recomendada do Poço (Qr)	32
5.4.3.2.3	Dimensionamento da Bomba do Poço	33
5.4.3.3	Hidroquímica	33
5.4.4	Assentamento Porto	38
5.4.4.1	O Poço Tubular	39
5.4.4.2	Interpretação do teste de bombeamento	39
5.4.4.2.1	Vazão Máxima de Exploração - Qme	41
5.4.4.2.2	Vazão Recomendada do Poço (Qr)	42
5.4.4.2.3	Dimensionamento da Bomba do Poço	43
5.4.2.3	Hidroquímica	43
6.	MUNICÍPIO DE JANDAÍRA	48
6.1	Caracterização Geográfica	48
6.2	Fisiografia	48
6.3	Geologia	48
6.4	Hidrogeologia	49
6.4.1	Cadastro de Poços	50
6.4.2	Comunidade Tubibal	50
6.4.2.1	O Poço Tubular	51
6.4.2.2	Interpretação do Teste de Bombeamento	52
6.4.2.2.1	Vazão Máxima de exploração (Qme)	53
6.4.2.2.2	Vazão Recomendada (Qr)	54
6.4.2.2.3	Dimensionamento da Bomba do Poço	55
6.4.2.3	Hidroquímica	56
7.	MUNICÍPIO DE BENTO FERNANDES	60

7.1	Caracterização Geográfica	60
7.2	Fisiografia	60
7.3	Geologia	60
7.4	Hidrogeologia	61
7.4.1	Cadastro de Poços	62
7.4.2	Comunidade Aldemir Lemos	62
7.4.2.1	O Poço Tubular	63
7.4.2.2	Interpretação do Teste de Bombeamento	64
7.4.2.2.1	Cálculo da Vazão Máxima de exploração (Qme)	65
7.4.2.2.2	Cálculo da Vazão Recomendada (Qr)	66
7.4.2.2.3	Dimensionamento da Bomba do Poço	67
7.4.2.3	Hidroquímica	68
8.	CONCLUSÕES	72
9.	REFERÊNCIAS	73

1. INTRODUÇÃO

O abastecimento de água às populações carentes, principalmente no Nordeste do País, historicamente tem sido assunto prioritário de pauta para todos os dirigentes governamentais seja na escala municipal, estadual ou federal. As condições climáticas adversas, com cíclicos períodos de escassez pluviométrica tem levado o poder público à realização de inúmeras obras sejam elas de armazenamento, como os açudes ou a perfuração e instalação de poços no intuito de fornecer água, tanto às sedes municipais como à população difusa representada por uma quantidade grande de comunidades rurais espalhadas por todo o território do semiárido brasileiro.

De uma forma caracterizadamente obreira, tiveram prioridade a construção dos grandes açudes, a exemplo do Armando Ribeiro Gonçalves no Rio Grande do Norte, e os programas de construção de poços sob a regência da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) que acelerava a atividade de exploração da água subterrânea, desenvolvida desde o final do século 19 pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), mais recentemente a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e economias mista estaduais como a Companhia de Desenvolvimento de Recursos Minerais do Rio Grande do Norte (CDM/RN), a Companhia Desenvolvimento de Recursos Minerais da Paraíba (CDRM/PB) e a Companhia de Engenharia Rural da Bahia (CERB), que, com o desenvolvimento do mercado de poços fora perdendo terreno para as atuais empresas particulares.

O século 20 para o Nordeste pode ser caracterizado pelo agravamento das condições de qualidade de vida resultante do intenso desmatamento combinado com a posterior lixiviação dos sais do solo através de chuvas, resultando na gradual salinização dos rios e riachos com consequências danosas ao meio ambiente, contribuindo substancialmente para o processo de desertificação antrópica de grandes áreas do semiárido. É fato incontestável a salinização das aluviões de rios que anteriormente armazenavam águas pluviais e serviam de fonte fornecimento de água de boa qualidade às populações, através da construção e captação por cacimbas e poços amazonas.

2. CONTEXTUALIZAÇÃO

A partir do final da última década do século passado, com a evolução dos questionamentos técnicos e gerenciais para o enfrentamento da seca, agora não mais com a visão da construção pura e simples de obras hídricas, passa-se a considerar que as obras estão subordinadas à gestão dos recursos hídricos e que atualmente são resultantes de um conhecimento da realidade regional envolvendo os aspectos técnicos e sociais locais assim como o estabelecimento da aplicação de políticas públicas que viabilizam o acesso das populações historicamente desassistidas, à água de boa qualidade.

O Programa Água Doce, formulado em 2003, posto em ação em 2004, é uma das consequências benéficas, em termos gerenciais, dessa visão de aplicação de políticas públicas, cujos passos se iniciam em diagnósticos técnicos e sociais das comunidades carentes, passando pela recuperação ou implantação e chegando à manutenção e monitoramento de sistemas de dessalinização, como forma, em termos regionais, de diminuir os impactos da desertificação, respeitando o meio ambiente e respeitando, sobretudo, o direito a que esta população tem de se desenvolver com qualidade de vida a partir do insumo básico da vida que é a água de boa qualidade físico-química e bacteriológica.

3. OBJETIVO

Dentre os produtos referidos no Termo de Referência, parte integrante do Contrato de Prestação de Serviços de Consultoria n.º 116182, o Produto 3 tem como objetivo a elaboração de Relatório Técnico contendo proposta de documento com informações, dados geológicos e hidrogeológicos assim como dados sociais, geográficos, planilhas de teste de bombeamento e análises físico-químicas de água obtidos nos diagnósticos de comunidades selecionadas pela coordenação estadual do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte, devidamente analisados e interpretados para a determinação do potencial hidrodinâmico e hidroquímico da água captada pelo poço escolhido para o abastecimento local, objetivando a determinação de sua capacidade de produção – vazão máxima e vazão recomendada – e possíveis usos além do consumo humano, sendo executado por amostragem no mínimo **5 (cinco) sistemas**, inicialmente nos municípios de

Ipanguaçu, Jandaíra e Bento Fernandes, referente ao componente Sistemas de Dessalinização, dando subsídios hidrogeológicos para o dimensionamento de sistemas de dessalinização a serem recuperados ou implantados.

4. **METODOLOGIA**

A metodologia adotada para a elaboração do presente produto teve como premissa a ideia básica o levantamento bibliográfico geológico e hidrogeológico em escala municipal, considerando que esta é a escala institucional do poder público, na prática, responsável pelo gerenciamento e administração da infraestrutura de fornecimento de água às comunidades rurais.

Desta forma, para os municípios escolhidos pela Coordenação Estadual do Programa Água Doce no Rio Grande do Norte, ou seja, Ipanguaçu, Jandaíra e Bento Fernandes, foram levantados dados geográficos, fisiográficos, geológicos e hidrogeológicos.

Os dados geográficos foram obtidos a partir das imagens atualizada do Google Earth. Os dados da fisiografia e da geologia foram obtidos basicamente dos diagnósticos municipais elaborados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Os dados de hidrogeologia foram obtidos tanto nos diagnósticos da CPRM como do Cadastro de Poços da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH).

Com relação aos poços das comunidades selecionadas para a composição deste produto, foram levantados os dados sociais de população e usos da água, dos diagnósticos contratados pelo PAD/RN e averiguados pessoalmente pelo autor em viagens técnicas de campo, principalmente no que se refere aos dados de posicionamento geográfico dos poços e respectivos dados hidráulicos de níveis e qualidade da água pela condutividade elétrica apresentada pela água subterrânea.

De posse desse levantamento, para cada ponto selecionado foi analisada a qualidade da água por laudos laboratoriais (Programa Qualigraf) e realizado cálculos referentes à capacidade de cada poço através da interpretação dos testes de bombeamento realizado por empresa contratada pelo PAD/RN realizados pela equipe técnica da SEMARH.

Os cálculos da vazão recomendada levaram em conta os usos múltiplos considerados o consumo de água de beber e de gasto da população, água para escola, posto de saúde e água para o consumo animal.

5. MUNICÍPIO DE IPANGUAÇU

5.1- Caracterização Geográfica

O Município de Ipanguaçu, no IBGE sob o nº 2404705, com uma área de 374,247 km², está localizado no estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, mais precisamente na Mesorregião Oeste Potiguar, Microrregião Vale do Açu, Folhas de Açu (SB.24-X-D-V) e Macau (SB.24-X-D-II), limitado ao Norte pelo Município de Afonso Bezerra, ao Sul pelo município de Itajá, à Leste pelos municípios de Afonso Bezerra e Angicos e à Oeste pelo município de Açu.

5.2 - Fisiografia

Ipanguaçu tem um clima quente e semiárido com período chuvoso de fevereiro a maio, numa pluviometria média de 521,3 mm. A temperatura média anual é de 27,9°C e a humidade relativa média anual oscila no entorno de 70%, com 2400 horas anuais de insolação. Está inserido no Polígono das Secas. Topograficamente o município apresenta relevo com altitudes abaixo de 100 metros de altitude.

5.3 - Geologia

O Município de Ipanguaçu se caracteriza pela ocorrência de formação geológica (Figura 5.1) que se inicia temporalmente no Paleoproterozóico (2.300 milhões de anos) do Complexo Caicó (PP2cai e PP2caia) constituída de anfíbolito, metaultramáfica, augen - gnaisse, metamáfica, migmatito, para - gnaisse e orto - gnaisse.

Recobrimdo esta formação, encontra-se a Formação Açu (K2a) constituída de arenitos, folhelho e argilito. Em sequência estão os calcários, calcarenitos, calcilutitos e folhelhos da Formação Jandaíra (K2j) - cortados por basaltos (K2_beta_C - que por sua vez são recobertos pela Formação Barreiras e

sequencialmente, pelos depósitos colúvio-eluviais (N23c – cascalhos, areias e argilas), fluvio-lacustrinos (N34flc - diatomitos, pelitos areias) e, cascalhos e argilas dos depósitos aluvionares (N4a – areias, cascalhos e argilas) do rio Piranhas Açu.

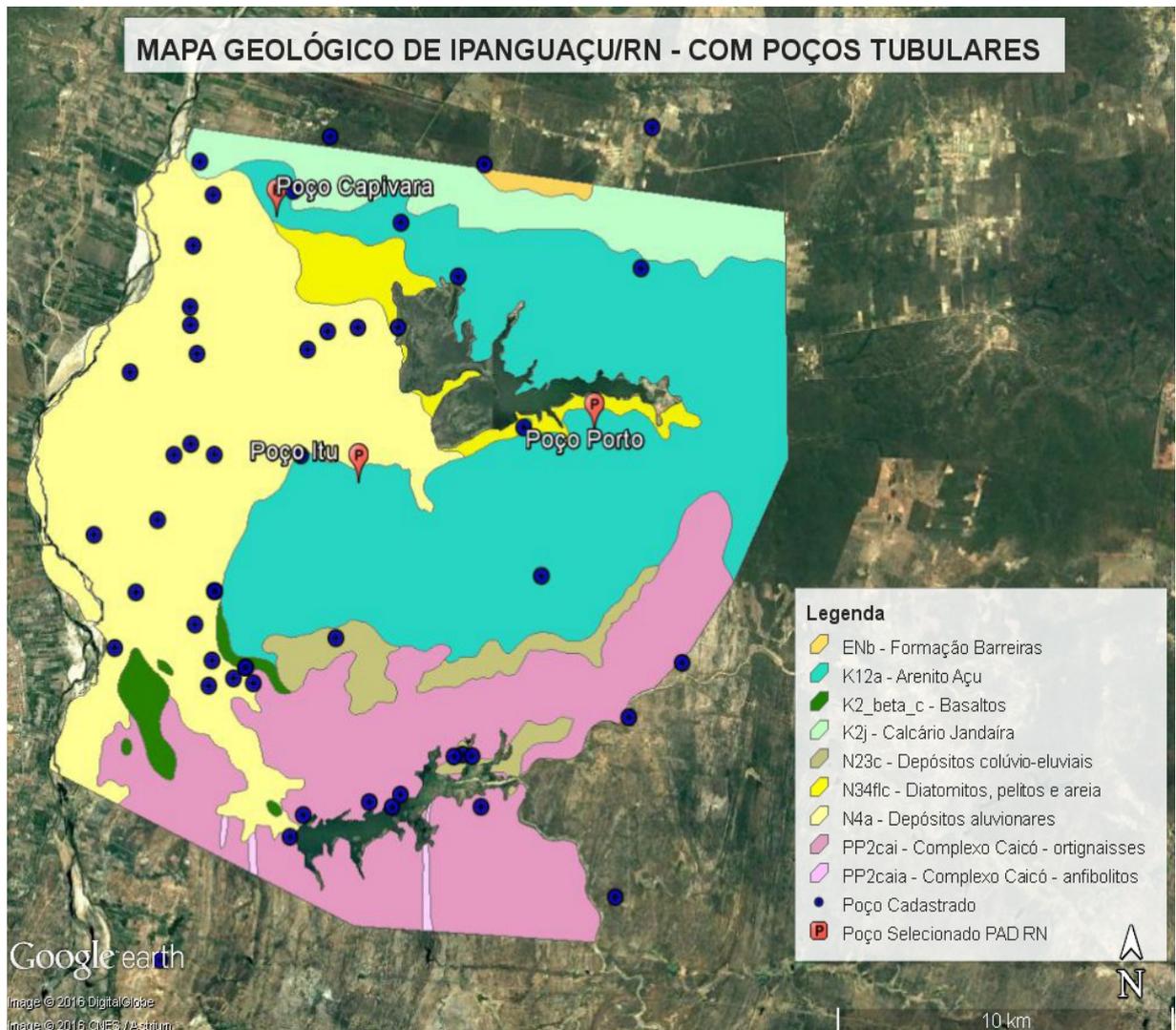


Figura 5.1 – Mapa Geológico de Ipanguaçu/RN – com Poços tubulares

5.4 - Hidrogeologia

Do ponto de vista hidrogeológico, o Município de Ipanguaçu ao longo de sua superfície geográfica possui todos os tipos de aquíferos, ou seja:

- a) fissural dos terrenos cristalinos do Complexo Caicó, localizado na sua parte sul, com poços caracterizadamente de vazões baixas (média de 1,5 m³/h e qualidade físico-química salobra e salina. Neste universo predominam salinidades inadequadas ao consumo humano, mas se

- prestam ao consumo animal até o limite de 10.000 mg/L e à irrigação de conformidade com o tipo de solo e cultivo que se quer explorar.
- b) poroso dos terrenos sedimentares das formações Açú e Depósitos colúvio-eluviais e aluvionares, com poços com vazões que ultrapassam 10 m³/h e boa qualidade físico-química e que produzem água para o consumo humano e para outras finalidades (consumo animal, indústria, irrigação).
 - c) cavernosos dos terrenos sedimentares da Formação Jandaíra com vazões variadas (de baixas a altas vazões) e qualidade geralmente salobras que se prestam ao consumo animal e podem ser utilizadas na irrigação de conformidade com as características de drenagem local e/ou tipo de cultivo a ser aplicado.

5.4.1 Cadastro de Poços

O município de Ipanguaçu, segundo o Cadastro de Poços da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte (SEMARH) tem 87 poços construídos sobre terrenos cristalinos do Complexo Caicó e sedimentares da Formação Açú, Formação Jandaíra e Depósitos Aluvionares do Rio Piranhas Açú, dos quais 61 têm coordenadas geográficas.

Da análise dos poços cadastrados pela SEMARH nas comunidades do Município de Ipanguaçu foram escolhidas as comunidades de Capivara, Assentamento Itu e Assentamento Porto para o detalhamento da hidrogeologia e o dimensionamento do equipamento de captação dos respectivos poços que fornecem água subterrânea.

Essa seleção teve como parâmetros a análise físico-química da água bruta coletada no poço e do teste de bombeamento para o cálculo da produção diária de água de beber, para o consumo animal e outros usos utilizados na comunidade.

5.4.2 - Comunidade Capivara

A Comunidade de Capivara, com aproximadamente 34 famílias, com energia elétrica trifásica, não possui rede coletora de esgotos e suas casas dispõem

de fossas sépticas, sendo o lixo queimado e enterrado. Essa comunidade não dispõe de posto de saúde e escola.



FIGURA 5.2 – Mapa da Área da Comunidade Capivara

O abastecimento de água para o consumo humano é realizado por caminhões pipa da prefeitura. A água utilizada para a dessedentação animal e como água de gasto é realizada através de rede de distribuição que vem de um poço tubular que produz água de má qualidade físico-química.

5.4.2.1 - O Poço tubular

Poço tubular que abastece a comunidade de Capivara faz a captação da água subterrânea proveniente de rochas calcárias predominantes na região e tem como características;

- a) Geográficas – Coordenadas geográficas de latitude 5°27'53,959"S e longitude 36°50'11,335"W.
- b) Construtivas – O poço tem 65,00 metros de profundidade, revestido com tubulação de PVC com diâmetro de 6 polegadas.
- c) Hidrogeológicas/hidrodinâmicas – captação em rocha calcária do aquífero Jandaíra livre. O nível estático é de 14,310 m, nível dinâmico de 14,940 m e rebaixamento de 0,63 m para uma vazão de 5,3 m³/h obtido no tempo de 12 horas de bombeamento.
- d) Hidrogeológicas/hidroquímicas – Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da ordem de 1774,80 mg/L. (Tabela 5.3)

5.4.2.2 - Interpretação do teste de bombeamento

O teste de bombeamento realizado em 15/01/2014 – Tabela 5.1 - no poço da comunidade de Capivara foi executado durante 12 horas e foi utilizada bomba submersível.

Do ponto de vista hidráulico o teste de bombeamento mostra um rebaixamento pequeno (0,63 m) do nível piezométrico para o tempo de 12 horas de bombeamento à vazão constante, característico de poços que captam água em ambientes de cavernas.

O Gráfico 5.1 com dados da vazão específica versus tempo de bombeamento, mostram uma variação também muito pequena de uma vazão específica alta que, após 12 horas, praticamente estabilizou em $q = 8,41 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$,

5.4.2.2.1 - Vazão Máxima de Exploração – Qme

Para o cálculo da vazão máxima de exploração a vazão produzida por um rebaixamento máximo disponível (RMD) da ordem de 40% da espessura da lâmina de água (ELA) que por sua vez é a diferença entre a profundidade (P) e o nível estático (NE) do poço, ou seja:

$$\text{ELA} = P - \text{NE} \text{ em que}$$

$$P = 65,00 \text{ m}$$

$$\text{NE} = 14,31 \text{ m}$$

$$\text{ELA} = 50,69 \text{ m}$$

$$\text{RMD} = \text{ELA} \times 0,40 = 50,69 \times 0,40 = 20,28 \text{ m}$$

Pelo Gráfico 02 obtêm-se a vazão específica após 12 horas de teste, ou seja,

$$q = 8,413 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

A vazão máxima de exploração será

$$Q_{me} = RMD \times q = 20,28 \text{ m} \times 8,413 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m} = 170,59 \text{ m}^3/\text{h}$$

5.4.2.2.2 - Vazão Recomendada

O não conhecimento do tipo, abertura e posição dos filtros do poço recomenda que, nesses casos, deve-se tomar a Vazão Recomendada como a vazão de teste do poço, considerando ainda a demanda de água da comunidade, ou seja, mantendo um bombeamento condizente com as necessidades mais prementes da população.

É evidente que este poço poderá produzir muito mais água se considerada a vazão máxima de exploração calculada pelo rebaixamento máximo disponível. No entanto, mesmo que se quisesse, esta própria vazão de exploração (170,59 m³/h) não poderia ser levada a efeito tendo em vista a restrição imposta pelo diâmetro do revestimento - 6 polegadas - e a alta velocidade da água nos filtros – maior que 3 cm/seg – que o poço produziria, resultando em bombeamento com regime turbulento, de forma nenhuma recomendável pois elevaria desnecessariamente as perdas de carga, desperdiçando energia.

Desta forma, esta vazão não deverá ser considerada, mostrando simplesmente a possibilidade de se produzir uma vazão maior que a vazão de teste, desde que se tomasse a precaução de determinar, com segurança, o comprimento e o tipo de filtro para a determinação da vazão máxima de exploração em regime laminar.

MUNICÍPIO : IPANGUAÇU/RN		COORD UTM: LONG 739.714,70 m / LAT 9					
LOCAL : CAPIVARA		ZONA: 24					
CÓDIGO PAD:		COORD GEOG. 36°50'11,335" LONG W / 0					
AQUÍFERO: KÁRSTICO		NE (m)	14,310	ND(m)	14,94		
PROF. (m)	65,00	DATA: 15/01/14			TB(min)=		
HORA	T	ND	S	Q	Q/S	REC I	
09:30	min.	(m)	(m)	(m ³ /h)	m ³ /h/m	T	
09:31:00	1	14,675	0,365	5,300	14,521	1	
09:32:00	2	14,810	0,500	5,300	10,600	2	
09:33:00	3	14,855	0,545	5,300	9,725	3	
09:34:00	4	14,845	0,535	5,300	9,907	4	
09:35:00	5	14,855	0,545	5,300	9,725	5	
09:36:00	6	14,865	0,555	5,300	9,550	6	
09:38:00	8	14,875	0,565	5,300	9,381	8	
09:40:00	10	14,885	0,575	5,300	9,217	10	
09:45:00	15	14,900	0,590	5,300	8,983	15	
09:50:00	20	14,915	0,605	5,300	8,760	20	
09:55:00	25	14,925	0,615	5,300	8,618	25	
10:00:00	30	14,930	0,620	5,300	8,548	30	
10:10:00	40	14,935	0,625	5,300	8,480		
10:20:00	50	14,935	0,625	5,300	8,480		
10:30:00	60	14,935	0,625	5,300	8,480		
10:40:00	70	14,945	0,635	5,300	8,346		
10:50:00	80	14,945	0,635	5,300	8,346		
11:10:00	100	14,943	0,633	5,300	8,373		

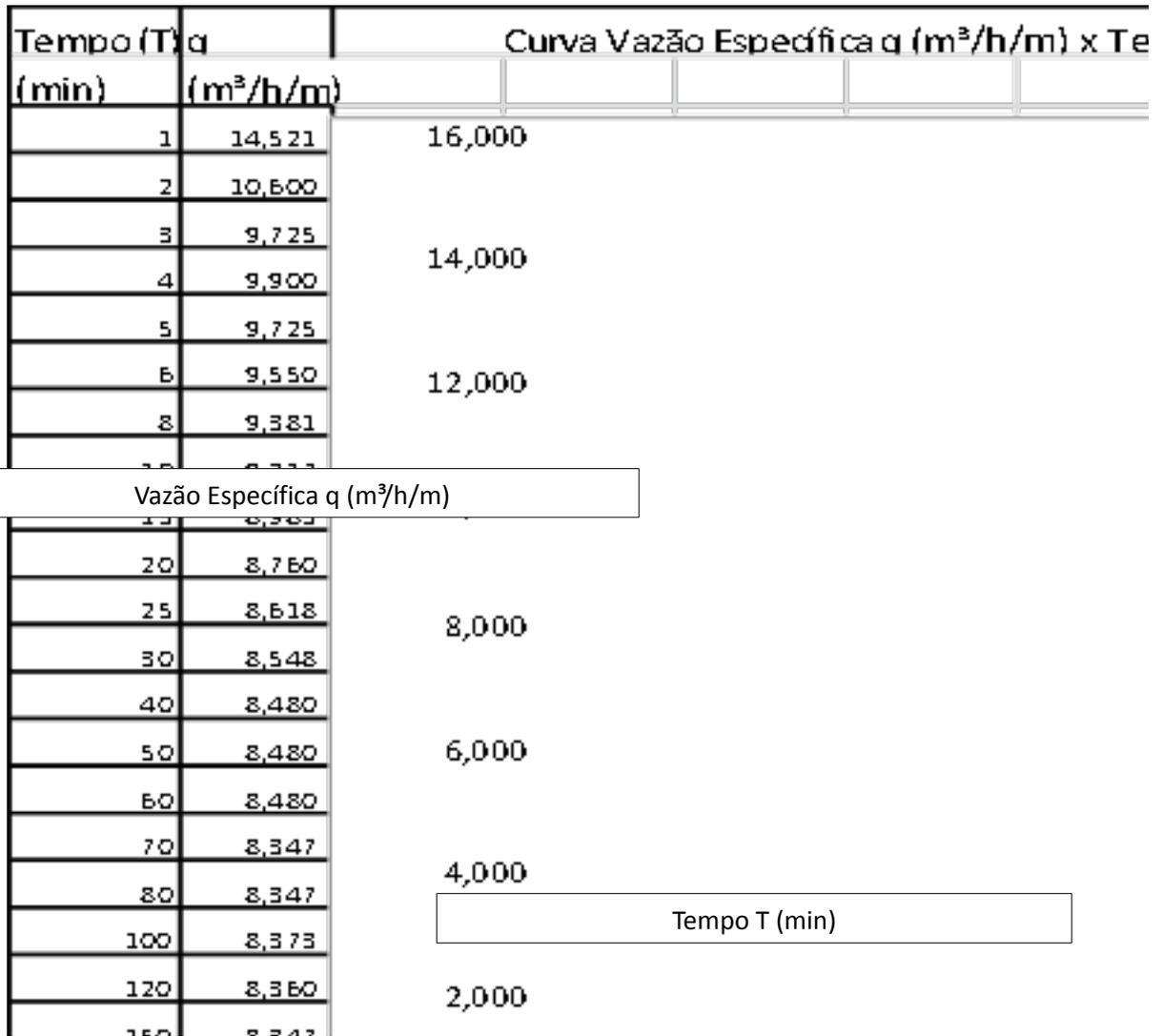


Gráfico 5.1 – Comunidade Capivara - Curva Vazão específica q (m³/h/m) x Tempo t (min)

Para o dimensionamento vazão recomendada do poço, além dos parâmetros hidrodinâmicos é necessário que se saiba o consumo total diário de água pela comunidade, distância e desnível entre o poço e o ponto onde deve se instalar a caixa d'água do sistema.

Na Simulação – TABELA 5.2, executada a partir dos dados, obtidos no diagnóstico da comunidade elaborado pela Veritas Engenharia Ambiental em 2013, com população de 34 famílias, 30 cabeças de gado e 200 caprinos e ovinos, chega-se ao tempo (T) de funcionamento da bomba do poço de 2,14 horas por dia para a vazão de teste Q = 5.300 L/h, considerando o disposto no item anterior e para efeito

de cálculo com segurança. a recuperação de 30% - relação entre a quantidade de água permeada e a quantidade de água de alimentação.

Tabela 5.2 - Comunidade Capivara - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos

DISCRIMINAÇÃO	qt	gasto p	água de	recup	total	conc
		unid	beber	sist	L/dia)	(L/dia)
		(L/dia)	(L/dia)	(%)		
população (fam)	34	40	1.360			
Escola (alunos)		3	0			
P Saúde (atend)		10	0			
TOTAL ÁGUA BOA			1.360	0,3	4.533	3.1
pop (gado)	30	50				1.5
pop (cap/ov)	200	18				3.6
TOTAL						5.1
SALDO PARA TANQUE						-1.5
água de gasto	34	200			6.800	
VOLUME TOTAL DE PRODUÇÃO DIÁRIA DO POÇO					11.333	
VAZÃO REC E HORAS DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA DO POÇO						

5.4.2.2.3 - Dimensionamento da Bomba do Poço

Para o dimensionamento da bomba do poço é necessário o cálculo da Altura Manométrica Total que é a soma das perdas de carga por elevação e distancia entre o poço e a caixa d'água e perdas na respectiva tubulação de transporte da água.

No caso da Comunidade Capivara já existe uma caixa d'água

Cálculo de Altura Manométrica Total

Sejam os dados:

ALT (boca do poço até topo cx. d'água) = 8,00 m

ND (nível dinâmico) = 14,94 m

PB (profundidade da bomba) = 26,94 m

Dist (distancia entre poço/ cx. d'água) = 250,00 m

DA (diferença de altura ND/caixa d'água) = 22,94 m

CR (comprimento reto - metragem de tubulação) = 284,94 m

Tubulação em PVC

DI (diâmetro interno da tubulação) = 2 “

Curvas de 90° = 3

Tê de 90° = 1

AMT = 25,86 m (calculado com Programa AiOFlo v1,07)

SIMULAÇÃO VAZÃO Q = 5,3 m³/h

AMT (ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL) = 25,86 m

D (diâmetro do poço para cálculo da amt) = 4 polegadas

Introduzidos os dados acima para os manuais de bomba submersível se pode obter:

Bomba para poço de 4”, 1,0 CV, 6 estágios, AMT m, VAZÃO 5 m²/h modelo 4R5 PA 06 230 – BOMBAS LEÃO;

Outros manuais de bombas submersíveis podem ser utilizados para cálculo das características de cada bomba seja SCHNEIDER, EBARA, DANCOR, KING, GIULLI E SIMILARES.

5.4.2.3 Hidroquímica

A água do poço de Capivara tem um STD (sólidos totais dissolvidos) da ordem de 1774,80 mg/L, é salôbra, não se prestando ao consumo humano e que pode ser consumida por gado, caprinos e ovinos. Mesmo considerando que a salinidade possa dobrar em termos de valores, após ser processada pelas membranas do dessalinizador, esta água ainda serviria para abastecer gado, caprinos e ovinos.

O Balanço Iônico (Figuras 5.3 e 5.4), calculado pelo Programa Qualigraf, resultou nos erros práticos de 3,67% pelo método de Custódio y Llamas (1983) e 1,83% pelo método de Logan (1965), atestando que a análise da amostra de água foi executada corretamente, ou seja, os erros práticos estão dentro das margens percentuais (erro permitido) consideradas pela condutividade da água analisada e pela relação quantitativa entre cátions e ânions respectivamente. Pelo Programa ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) o Balanço Iônico resultou em 0,87%, abaixo do limite máximo permitido de 10%.

Pelo Gráfico de Piper (Figura 5.5) a água é considerada cálcica cloretada.

Com relação à utilização da água para irrigação o RAS (Figura 5.6) apresentou uma água do tipo C4S1, isto é, um risco muito alto de salinização e um baixo risco de adsorção de sódio.

Tabela 5.3 - Capivara - Análise físico-química da água do poço

LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE SOLO, AGUA E PLANTAS				
Endereço: Av. Interventor Mário Câmara, 2550, NATAL, RN				
Amostra n.º 368/14		Data da entrada: 27/03/2014 Data de entr		
Solicitante: VERITAS SERV. DE MEIO AMBIENTE				
Procedência: Capivara - Ipanema - RN				
Material	Água	Marca	AM17	
Coletor		Laboratório	X	Cliente
COORD GEOG: 36° 50' 11,335" W / 05° 27' 53,959" S				
Determinação*				Valor Máximo
				Permitido**
Temperatura °C				
Cor uH				15,00
Odor				não objetável
Sabor				não objetável
Turbidez, UT				5,00
pH				6 a 9,5
Condutividade elétrica, µS/cm				
Sólidos totais a 105 °C, mg/l				
Sólidos dissolvidos totais, mg/l				1.000,00
Sólidos em suspensão, mg/l				
Alcalinidade total, mg/L CaCO ₃				
Alcalinidade de hidróxido, mg/L CaCO ₃				
Alcalinidade de carbonato, mg/L CaCO ₃				
Alcalinidade de bicarbonato, mg/L CaCO ₃				
Dureza, mg/L CaCO ₃				

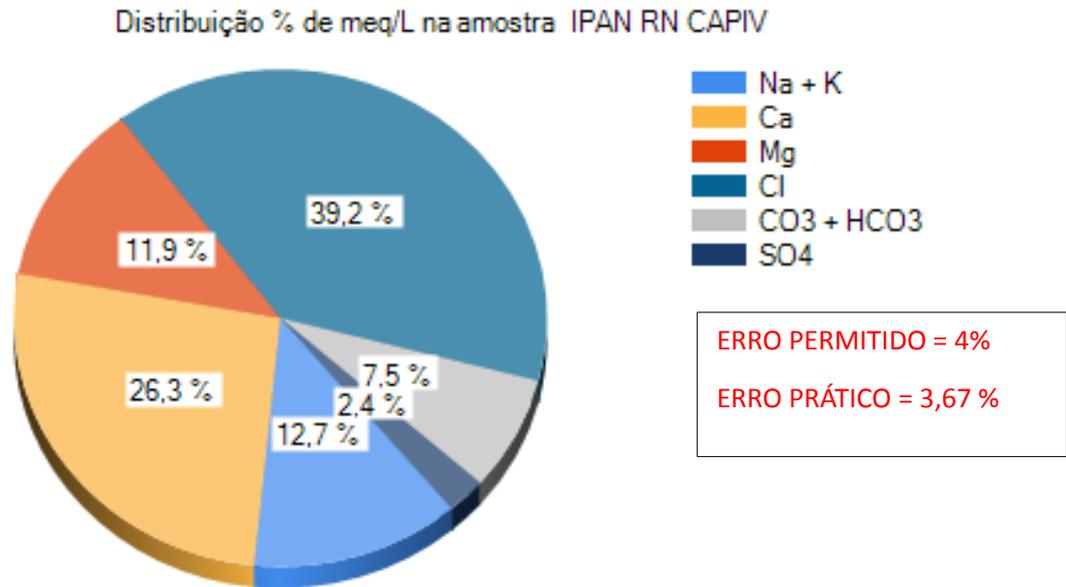


Figura 5.3 – Capivara - Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983)

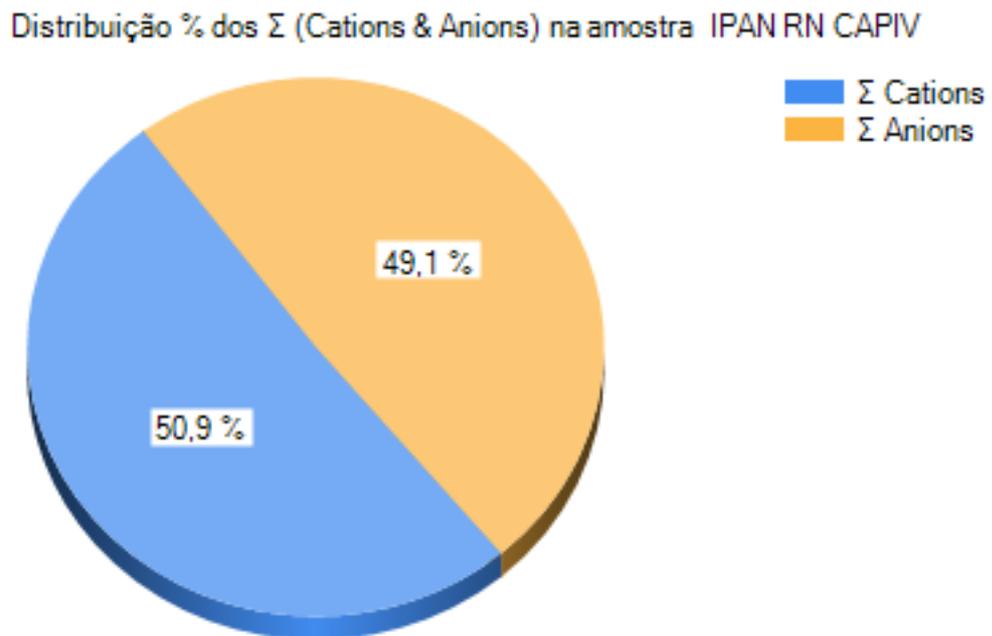


Figura 5.4 - Capivara - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)

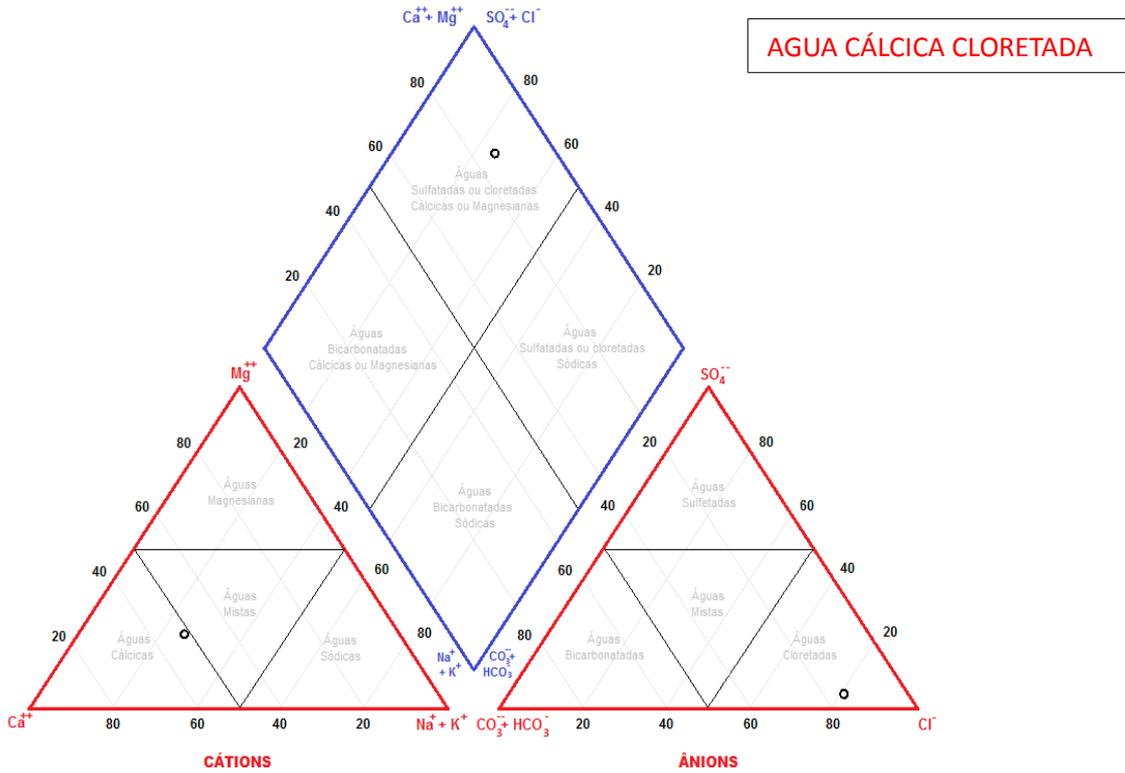


Figura 5.5 –Capivara - Diagrama Triangular de Piper

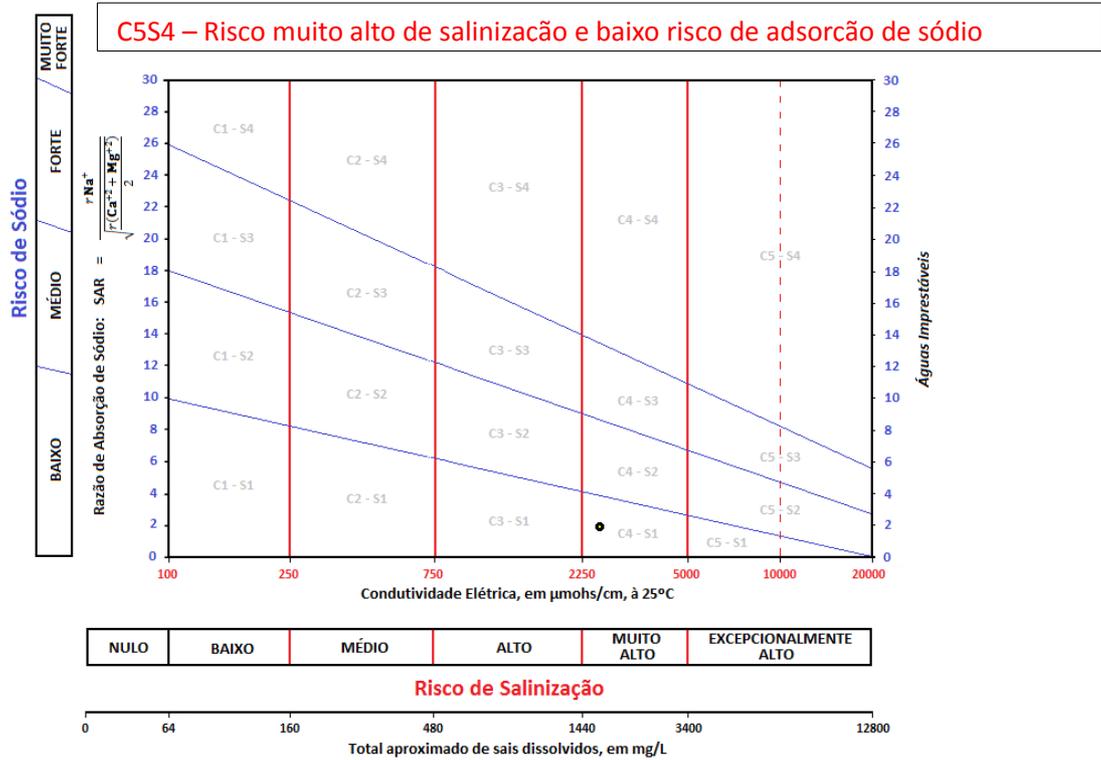


Figura 5.6 – Capivara - Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)

5.4.3 – Assentamento Itu

O Assentamento Itu, com aproximadamente 147 famílias, com energia elétrica, não possui rede coletora de esgotos e suas casas dispõem de fossas sépticas, sendo o lixo queimado e enterrado. Essa comunidade não dispõe de posto de saúde e escola. As atividades ligadas à saúde e educação são desenvolvidas na Comunidade Picada, situada a 1,5 km de distancia.



Figura 5.7 – Mapa da Área do Assentamento Itu

O abastecimento de água para o consumo humano é realizado por cisternas que são abastecidas por água de chuva. A água utilizada para a dessedentação animal e como água de gasto é realizada através de rede de distribuição que vem do poço tubular que produz água de má qualidade físico-química.

5.4.3.1 - O Poço tubular

Poço tubular que abastece o Assentamento Itu faz a captação da água subterrânea proveniente de rochas calcárias predominantes na região e tem como características;

- e) Geográficas – Coordenadas geográficas de latitude $5^{\circ}31'53,261''\text{S}$ e longitude $36^{\circ}48'52,253''\text{W}$.
- f) Construtivas – O poço tem 55,00 metros de profundidade, revestido com tubulação de pvc com diâmetro de 6 polegadas.
- g) Hidrogeológicas/hidrodinâmicas – captação em rocha calcária do aquífero Jandaíra livre. O nível estático é de 26,69m, nível dinâmico de 29,315 m e rebaixamento de 2,63 m para uma vazão de 6,5 m³/h obtido no tempo de 12 horas de bombeamento.
- h) Hidrogeológicas/hidroquímicas – Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da ordem de 1.152,40 mg/L. (Tabela 5.6)

5.4.3.2 - Interpretação do teste de bombeamento

O teste de bombeamento realizado em 16/11/2013 – Tabela 5.4 - no poço do Assentamento Itu foi executado durante 12 horas e foi utilizada bomba submersível.

Do ponto de vista hidráulico o teste de bombeamento mostra um rebaixamento, que pode ser considerado pequeno (2,63 m), do nível piezométrico para o tempo de 12 horas de bombeamento à vazão constante.

O Gráfico 5.2 com dados da vazão específica versus tempo de bombeamento, mostram uma grande variação de uma vazão específica – de 36,111 para 2,476 m³/h/m - que, após 6 horas, praticamente estabilizou.

MUNICÍPIO: IPANGUAÇU/RN		COORD UTM: LONG 742.122,90 m / LAT 9.388.143,0				
LOCAL: ASSENT. ITU		ZONA: 24				
CÓDIGO PAD:		COORD GEOG. 36°48'52,253" LONG W / 05°31'53,26				
AQÜÍFERO: KÁRSTICO		BOCA (m)		0,32		
PROF. (m)	55 m	DATA: 21/11/13			TB (min)=	
NE (m)		26,69		ND (m)		29,315
						Q (m³/h)
HORA	T	ND	S	Q	Q/S	
09:30	min.	(m)	(m)	(m³/h)	m³/h/m	T
09:31:00	1	26,87	0,18	6,5	36,111	
09:32:00	2	27,18	0,49	6,5	13,265	
09:33:00	3	27,38	0,68	6,5	9,489	
09:34:00	4	27,6	0,91	6,5	7,159	
09:35:00	5	27,76	1,07	6,5	6,075	
09:36:00	6	27,89	1,2	6,5	5,412	
09:38:00	8	28,01	1,32	6,5	4,917	
09:40:00	10	28,04	1,35	6,5	4,818	
09:45:00	15	28,05	1,36	6,5	4,786	
09:50:00	20	28,05	1,36	6,5	4,772	
09:55:00	25	28,06	1,37	6,5	4,762	
10:00:00	30	28,06	1,37	6,5	4,762	
10:10:00	40	28,06	1,37	6,5	4,762	
10:20:00	50	28,76	2,07	6,5	3,140	
10:30:00	60	29,14	2,45	6,5	2,649	
10:40:00	70	29,28	2,59	6,5	2,510	
10:50:00	80	29,29	2,6	6,5	2,500	
11:10:00	100	29,3	2,61	6,5	2,494	1

Tabela 5.4 – Itu – Teste de Bombeamento

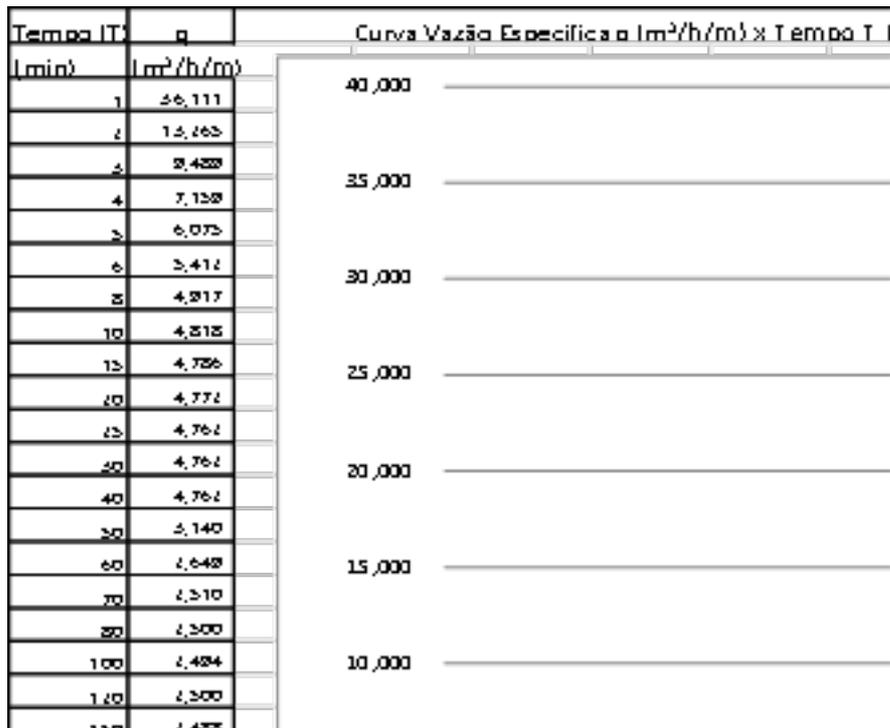


GRÁFICO 5.2 – Assentamento Itu - Curva Vazão Específica q (m³/h/m) x Tempo t (min)

5.4.3.2.1 - Vazão Máxima de Exploração – Qme

Para o cálculo da vazão máxima de exploração a vazão produzida por um rebaixamento máximo disponível (RMD) da ordem de 40% da espessura da lâmina de água (ELA) que por sua vez é a diferença entre a profundidade (P) e o nível estático (NE) do poço, ou seja:

$$ELA = P - NE \text{ em que}$$

$$P = 55,00 \text{ m}$$

$$NE = 26,69 \text{ m}$$

$$ELA = 28,31 \text{ m}$$

$$RMD = ELA \times 0,40 = 28,31 \times 0,40 = 11,32 \text{ m}$$

Pelo Gráfico 02 obtêm-se a vazão específica após 12 horas de teste, ou seja,

$$q = 2,472 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

A vazão máxima de exploração será

$$Qme = RMD \times q = 11,32 \text{ m} \times 2,476 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m} = 28,04 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{me} = 28,04 \text{ m}^3/\text{h}$$

5.4.3.2.2 - Vazão Recomendada do Poço (Q_r)

Para o dimensionamento vazão recomendada do poço, além dos parâmetros hidrodinâmicos é necessário que se saiba o consumo total diário de água pela comunidade, distância e desnível entre o poço e o ponto onde deve se instalar a caixa d'água do sistema.

Na Simulação – TABELA 5.2, executada a partir dos dados, obtidos no diagnóstico da comunidade elaborado pela Veritas Engenharia Ambiental em 2013 com população de 147 famílias, 100 cabeças de gado e 200 caprinos e ovinos, foi utilizada a vazão de teste que a bomba submersível, há muito tempo instalada no poço, produz. Desta forma se evita, pelo falta de informações sobre o perfil construtivo do poço em relação à sua secção filtrante, o consequente dimensionamento de uma bomba mais possante que poderá elevar desnecessariamente as perdas de carga no poço, elevando, em consequência, os custos de energia.

O resultado da simulação é um tempo (T) de funcionamento da bomba do poço de 7,54 horas por dia para a vazão de teste $Q = 6.500 \text{ L/h}$, considerada, para efeito de cálculo com segurança, a recuperação de 30% - relação entre a quantidade de água permeada e a quantidade de água de alimentação.

Tabela 5.5 Assentamento Itu - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos

DISCRIMINAÇÃO	qt	gasto p	água de	recup	total	conc
		unid	beber	sist	L/dia)	(L/dia)
		(L/dia)	(L/dia)	(%)		
população (fam)	147	40	5.880			
Escola (alunos)		3	0			
P Saúde (atend)		10	0			
TOTAL ÁGUA BOA			5.880	0,3	19.600	13,7
pop (gado)	100	50				5,0
pop (cap/ov)	200	18				3,6
TOTAL						8,6
SALDO PARA TANQUE						5,1
água de gasto	147	200			29.400	
VOLUME TOTAL DE PRODUÇÃO DIÁRIA DO POÇO					49.000	

5.4.3.2.3 - Dimensionamento da Bomba do Poço

Para o dimensionamento da bomba do poço é necessário o cálculo da Altura Manométrica Total que é a soma das perdas de carga por elevação e distancia entre o poço e a caixa d'água e perdas na respectiva tubulação de transporte da água.

Cálculo de Altura Manométrica Total

Sejam os dados:

ALT (boca do poço até topo cx. d'água) = 3,00 m

ND (nível dinâmico) = 29,31 m

PB (profundidade da bomba) = 41,32 m

Dist (distancia entre poço/ cx. d'água) = 100,00 m

DA (diferença de altura ND/caixa d'água) = 32,31 m

CR (comprimento reto - metragem de tubulação) = 144,32 m

Tubulação em PVC

DI (diâmetro interno da tubulação) = 2 "

Curvas de 90° = 3

Tê de 90° = 1

SIMULAÇÃO VAZÃO Q = 6,5 m³/h

D (diâmetro do poço para cálculo da amt) = 4 polegadas

AMT = 34,44 (calculado com Programa AiOFlo v1,07)

Introduzidos os dados acima para os manuais de bomba submersível se pode obter:

Bomba para poço de 4", 1,5 CV, 10 estágios, AMT m, VAZÃO 6,5 m³/h modelo 4R5 PA 1009 230 – BOMBAS LEÃO;

Outros manuais de bombas submersíveis podem ser utilizados para cálculo das características de cada bomba seja SCHNEIDER, EBARA, DANCOR, KING, GIULLI E SIMILARES.

5.4.3.3 Hidroquímica

A água do poço do Assentamento Itu tem um STD (sólidos totais dissolvidos) da ordem de 1.152,40 mg/L, é salobra, não se prestando ao consumo humano e que pode ser consumida por gado, caprinos e ovinos. Mesmo considerando que a salinidade possa dobrar em termos de valores, após ser processada pelas membranas do dessalinizador, esta água ainda serviria para abastecer pequenos animais domésticos, gado, caprinos e ovinos.

O Balanço Iônico (Figuras 5.8 e 5.9), calculado pelo Programa Qualigraf, resultou nos erros de 13,07% pelo método de Custódio y Llamas (1983) e 6,54% pelo método de Logan (1965). Em que pese o erro prático ser maior que o erro permitido pelo método Custódio & Llamas, o programa mostra que no método de Logan o erro prático está compatível com o erro permitido, atestando assim que a análise da amostra de água foi executada corretamente, ou seja, o erro prático está dentro do percentual de erro permitido considerada pelo somatório de cátions ou ânions. Pelo Programa ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) o Balanço Iônico resultou em 1,6%, abaixo do limite máximo permitido de 10%.

Pelo Gráfico de Piper (Figura 5.10) a água é considerada sódica cloretada.

Com relação à utilização da água para irrigação o RAS (Figura 5.11) apresentou uma água do tipo C3S1, isto é, um risco alto de salinização e um baixo risco de adsorção de sódio.

Tabela 5.6 – Assentamento Itu - Análise físico-química da água do poço

LABORATÓRIO DE ANÁLISES DESOLO, AGUA E PLANTAS				
Endereço: Av. Interventor Mário Câmara, 2550, NATAL, RN				
Amostra n.º	369/14		Data da entrada: 27/03/2014	Data de ent
Solicitante: VERITAS SERV. DE MEIO AMBIENTE				
Procedência: Itu - Ibanguacu - RN				
Material	Água	Marca	AM18	
Coletor		Laboratório	X	Cliente
COORD GEOG: 36° 48' 52,253" W / 05° 31' 53,261" S				
Determinação*				Valor Máximo
				Permitido**
Temperatura ° C				
Cor uH				15,00
Odor				não objetável
Sabor				não objetável
Turbidez, UT				5,00
pH				6 a 9,5
Condutividade elétrica, $\mu\text{S}/\text{cm}$				
Sólidos totais a 105 ° C, mg/L				
Sólidos dissolvidos totais, mg/L				1.000,00
Sólidos em suspensão, mg/L				
Alcalinidade total, mg/L CaCO_3				
Alcalinidade de hidróxido, mg/L CaCO_3				
Alcalinidade de carbonato, mg/L CaCO_3				
Alcalinidade de bicarbonato, mg/L CaCO_3				
Dureza, mg/L CaCO_3				
Nitrogênio amoniacal, mg/L NH_3				1,50
Nitrito, mg/L N				1,00
Nitrato, mg/L N				10,00
Cálcio, mg/L Ca^{12}				
Magnésio, mg/L Mg^{12}				

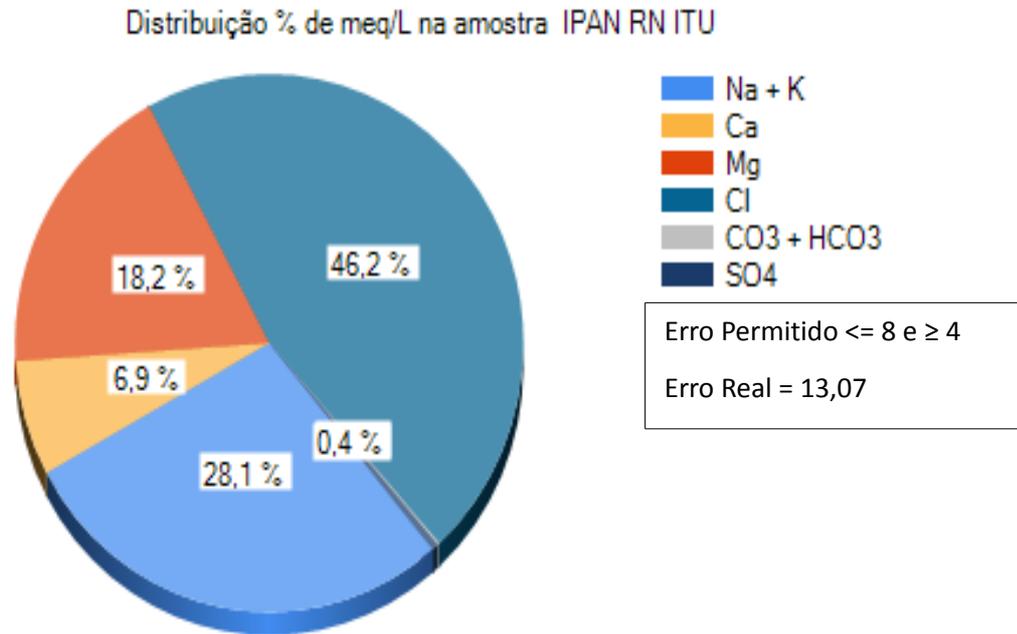


Figura 5.8 – Assentamento Itu - Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983)

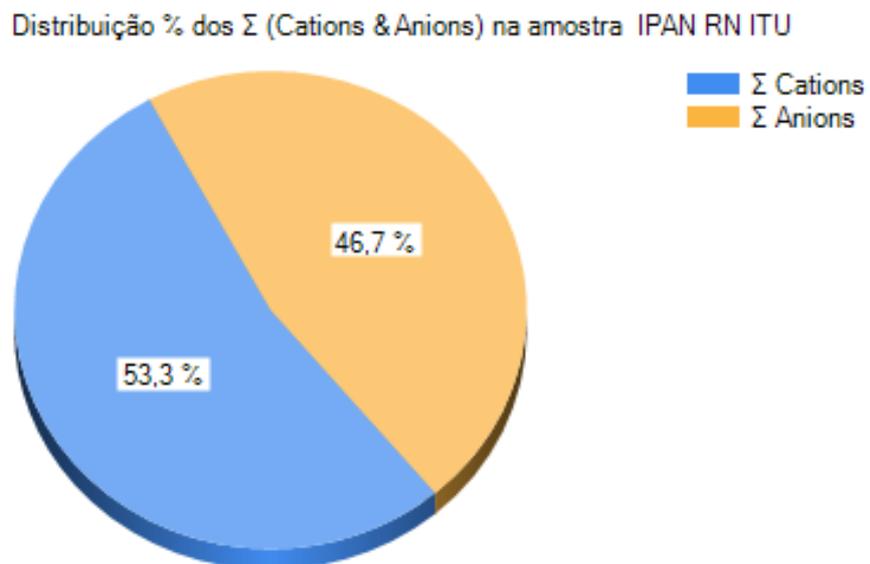


Figura 5.9 – Assentamento Itu - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)

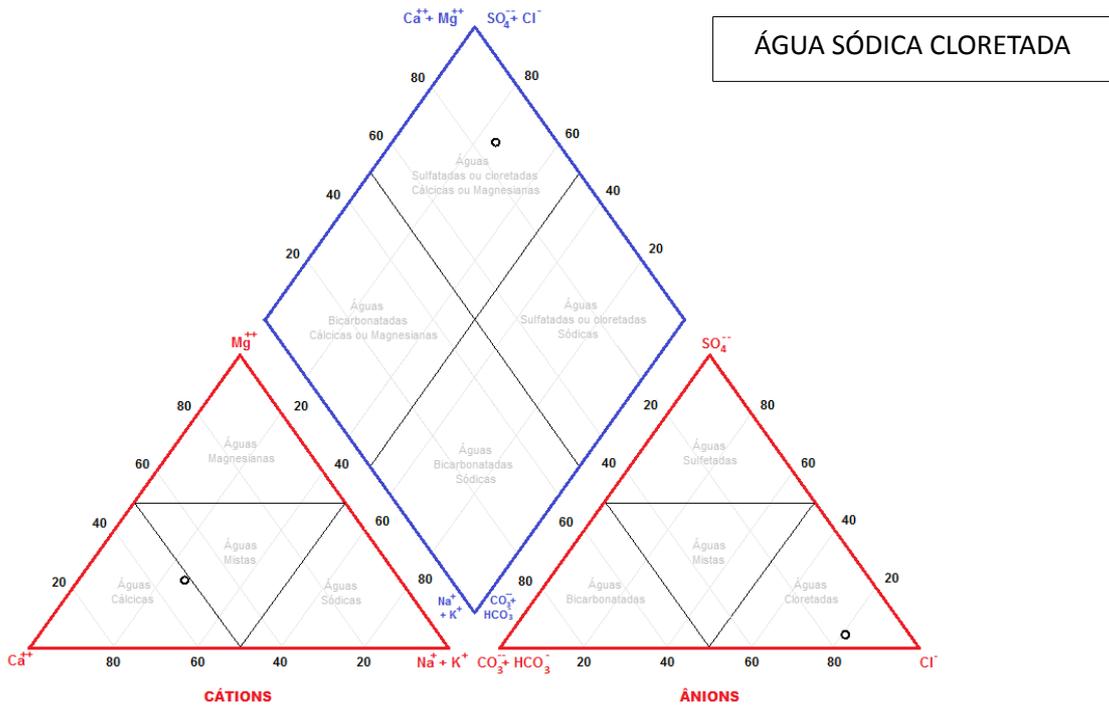


Figura 5.10 – Assentamento Itu - Diagrama Triangular de Piper

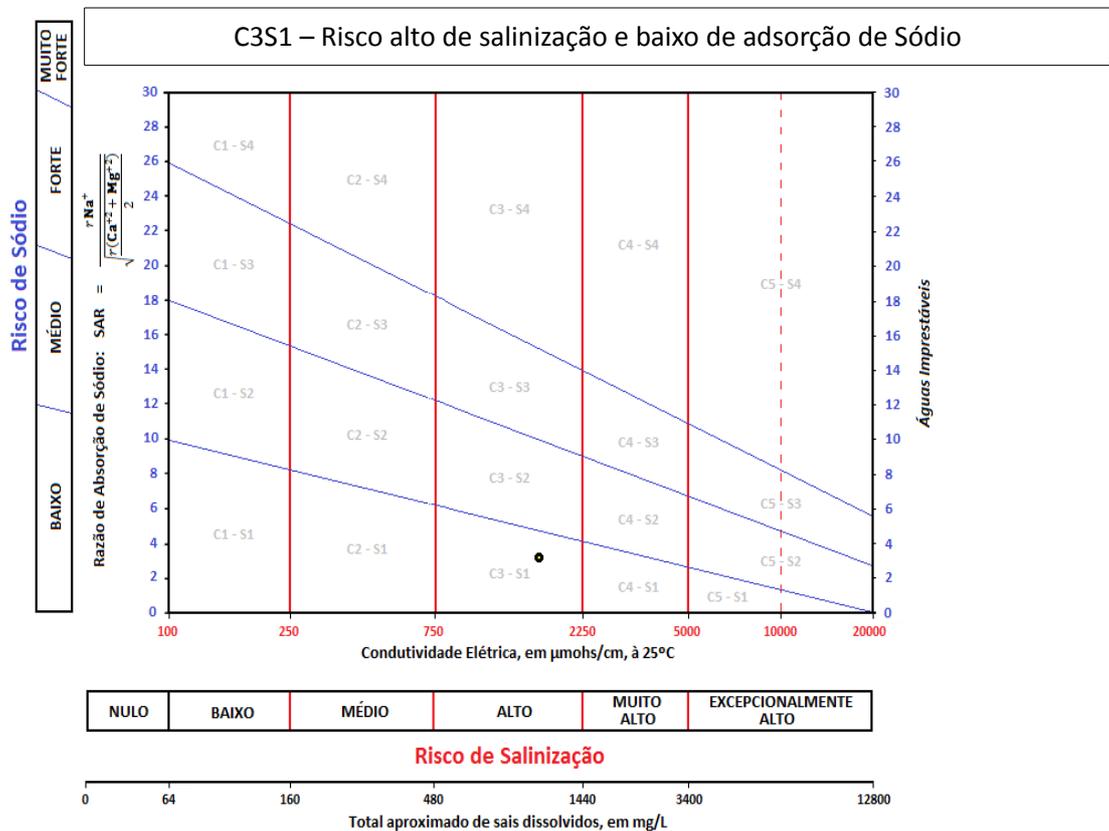


Figura 5.11 – Assentamento Itu - Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)

5.4.4 – Assentamento Porto

O Assentamento Porto, com aproximadamente 69 famílias, com energia elétrica, não possui rede coletora de esgotos e suas casas dispõem de fossas sépticas, sendo o lixo jogado em barreiros antigos locais onde se extraíam barro. Essa comunidade dispõe de posto de saúde e escola.

O abastecimento da comunidade para fins primários (consumo Humano) provém de água de chuva captada para cisternas. Para fins secundários a água é obtida de dois poços tubulares através de rede de distribuição para as casas.



Figura 5.12 – Mapa da Área da Comunidade Porto

5.4.4.1 - O Poço tubular

Poço tubular que abastece da Comunidade do Porto tem a sua captação na água subterrânea proveniente de rochas areno-calcíferas predominantes na região e tem como características;

- i) Geográficas – Coordenadas geográficas de latitude $5^{\circ}31'7,906''S$ e longitude $36^{\circ}46'8,844''W$.
- j) Construtivas – O poço tem 57,00 metros de profundidade, revestido com tubulação de pvc com diâmetro de 6 polegadas.
- k) Hidrogeológicas/hidrodinâmicas – captação em rochas areno-calcíferas, provavelmente do contato do Calcário Jandaíra com a Formação Arenito. O nível estático é de 12,335 m, nível dinâmico de 20,345 m e rebaixamento de 8,01 m para uma vazão de 6,0 m³/h obtido no tempo de 12 horas de bombeamento.
- l) Hidrogeológicas/hidroquímicas – Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da ordem de 983,20 mg/L. (Tabela 5.9)

5.4.4.2 - Interpretação do teste de bombeamento

O teste de bombeamento realizado em 21/11/2013 – Tabela 5.7 - no poço da Comunidade Porto foi executado durante 12 horas e foi utilizada bomba submersível.

Do ponto de vista hidráulico o teste de bombeamento mostra um rebaixamento do nível piezométrico de 8,01 m para o tempo de 12 horas de bombeamento à vazão constante, sem estabilização.

O Gráfico 5.3 com dados da vazão específica versus tempo de bombeamento, mostram razoável variação da vazão específica – de 2,075 para 0,749 m³/h/m em 12 horas de bombeamento do poço.

MUNICÍPIO: IPANGUACU/RN			COORD UTM: LONG 747.159,40 m / LAT 9.3			
LOCAL : ASSENT. PORTO			ZONA: 24			
CÓDIGO PAD:			COORD GEOG. 36°46'8,844" LONG W / 05°3			
AQUÍFERO: KÁRSTICO						
PROF. (m)	57,00	m	DATA: 21/11/13			TB (min)
NE (m)	12,335		ND (m)	17,865		Q (m³/h)
EMBEAMENTO			RECUPERAÇÃO			
Hora (h)	Tempo (min)	ND (m)	S (m)	Q (m³/h)	$\alpha = Q/S$ (m³/h)/m	Tempo (min)
	1	15,230	2,895	6,000	2,073	1
	2	16,320	3,985	6,000	1,506	2
	3	17,100	4,765	6,000	1,259	3
	4	17,690	5,355	6,000	1,120	4
	5	17,960	5,625	6,000	1,067	5
	6	18,110	5,775	6,000	1,039	6
	8	18,310	5,975	6,000	1,004	8
	10	18,490	6,155	6,000	0,975	10
	15	18,700	6,365	6,000	0,943	15
	20	18,780	6,445	6,000	0,931	20
	25	18,930	6,595	6,000	0,910	25
	30	18,980	6,645	6,000	0,903	30
	40	19,130	6,795	6,000	0,883	40
	50	19,240	6,905	6,000	0,869	50
1	60	19,290	6,955	6,000	0,863	60
	70	19,400	7,065	6,000	0,849	70
	80	19,370	7,035	6,000	0,853	80

Tempo (T) (min)	q (m ³ /h/m)	Curva Vazão Específica q (m ³ /h/m) x Te
1	2,073	2,500
2	1,506	
3	1,259	
4	1,120	
5	1,067	
6	1,059	2,000
8	1,004	
10	0,975	
15	0,943	
20	0,931	
25	0,910	1,500
30	0,903	
40	0,883	
50	0,869	
60	0,863	
70	0,849	1,000
80	0,853	
100	0,834	
120	0,819	
150	0,807	
		0,500

Gráfico 5.3 – Porto - Curva Vazão Específica q (m³/h)/m) x Tempo t (min)

5.4.4.2.1 - Vazão Máxima de Exploração – Qme

Para o cálculo da vazão máxima de exploração a vazão produzida por um rebaixamento máximo disponível (RMD) da ordem de 40% da espessura da lâmina de água (ELA) que por sua vez é a diferença entre a profundidade (P) e o nível estático (NE) do poço, ou seja:

$$ELA = P - NE \text{ em que}$$

$$P = 57,00 \text{ m}$$

$$NE = 12,335 \text{ m}$$

$$ELA = 44,67 \text{ m}$$

$$RMD = ELA \times 0,40 = 44,67 \times 0,40 = 17,87 \text{ m}$$

Pelo Gráfico 5.3 obtêm-se a vazão específica após 12 horas de teste, ou seja,

$$q = 0,749 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

A vazão máxima de exploração será

$$Qme = RMD \times q = 17,47 \text{ m} \times 0,749 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m} = 13,38 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{me} = 13,38 \text{ m}^3/\text{h}$$

5.4.4.2.2 - Vazão Recomendada do Poço (Qr)

Para o dimensionamento vazão recomendada do poço, além dos parâmetros hidrodinâmicos é necessário que se saiba o consumo total diário de água pela comunidade, distância e desnível entre o poço e o ponto onde deve se instalar a caixa d'água do sistema.

Na Simulação – TABELA 5.8, executada a partir dos dados, obtidos no diagnóstico da comunidade elaborado pela Veritas Engenharia Ambiental em 2013 de população humana e animal respectivamente de 74 famílias, 200 cabeças de gado e 400 caprinos e ovinos, foi utilizada a vazão de teste que a bomba submersível, há muito tempo instalada no poço, produz. Desta forma se evita, pelo falta de informações sobre o perfil construtivo do poço em relação à sua secção filtrante, o conseqüente dimensionamento de uma bomba mais possante que poderá elevar desnecessariamente as perdas de carga no poço, elevando, em conseqüência, os custos de energia.

O resultado da simulação é um tempo (T) de funcionamento da bomba do poço de 4,45 horas por dia para a vazão de teste $Q = 6.000 \text{ L/h}$, considerada, para efeito de cálculo com segurança, a recuperação de 30% - relação entre a quantidade de água permeada e a quantidade de água de alimentação.

Tabela 5.8 Assentamento Porto - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos

DISCRIMINAÇÃO	qt	gasto p unid (L/dia)	água de beber (L/dia)	recup sist (%)	total L/dia)	conc (L/dia)
população (f)	74	40	2.960			
Escola (alun)	148	3	444			
P Saúde (ate)	8	20	160			
TOTAL ÁGUA BOA			3.564	0,3	11.880	8,3
pop (gado)	200	50				10,0
pop (cap/ov)	400	18				7,2
TOTAL						17,2
SALDO PARA TANQUE						-8,8
água de gas	74	200			14.800	
VOLUME TOTAL DE PRODUÇÃO DIÁRIA DO POÇO					26.680	
VAZÃO RECOMENDADA DE FUNCIONAMENTO DA BOMBA DO POÇO						

5.4.4.2.3 - Dimensionamento da Bomba do Poço

Para o dimensionamento da bomba do poço é necessário o cálculo da Altura Manométrica Total que é a soma das perdas de carga por elevação e distancia entre o poço e a caixa d'água e perdas na respectiva tubulação de transporte da água.

Cálculo de Altura Manométrica Total

Sejam os dados:

ALT (boca do poço até topo cx. d'água) = 3,00 m

ND (nível dinâmico) = 20,35 m

PB (profundidade da bomba) = 32,43 m

Dist (distancia entre poço/ cx. d'água) = 20,00 m

DA (diferença de altura ND/caixa d'água) = 23,35 m

CR (comprimento reto - metragem de tubulação) = 55,43 m

Tubulação em PVC

DI (diâmetro interno da tubulação) = 1 ½ "

Curvas de 90° = 3

Tê de 90° = 1

SIMULAÇÃO VAZÃO Q = 6,0 m³/h

D (diâmetro do poço para cálculo da amt) = 4 polegadas

AMT = 25,70 (calculado com Programa AiOFlo v1,07)

Introduzidos os dados acima para os manuais de bomba submersível se pode obter:

Bomba para poço de 4", 1,0 CV, 6 estágios, AMT m, VAZÃO 6,0 m³/h modelo 4R5 PA 06 230 – BOMBAS LEÃO;

Outros manuais de bombas submersíveis podem ser utilizados para cálculo das características de cada bomba seja SCHNEIDER, EBARA, DANCOR, KING, GIULLI E SIMILARES.

5.4.2.3 - Hidroquímica

A água do poço do Assentamento Porto tem um STD (sólidos totais dissolvidos) da ordem de 983,20 mg/L, é salobra, não se prestando ao consumo

humano e que pode ser consumida por pequenos animais domésticos, gado, caprinos e ovinos. Mesmo considerando que a salinidade possa dobrar em termos de valores, após ser processada pelas membranas do dessalinizador, esta água ainda serviria para abastecer pequenos animais domésticos, gado, caprinos e ovinos.

O Balanço Iônico (Figuras 5.13 e 5.14), calculado pelo Programa Qualigraf, resultou nos erros práticos de 20,86% pelo método de Custódio y Llamas (1983) e 10,45% pelo método de Logan (1965). Em que pese o erro prático ser maior que o erro permitido pelo método Custódio & Llamas, o programa mostra que no método de Logan o erro prático está compatível com o erro permitido, atestando assim que a análise da amostra de água foi executada corretamente, ou seja, o erro prático está dentro do percentual de erro permitido considerada pelo somatório de cátions ou ânions. Pelo Programa ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) o Balanço Iônico resultou em 2,28%, abaixo do limite máximo permitido de 10%.

Pelo Gráfico de Piper (Figura 5.15) a água é considerada sódica cloretada.

Com relação à utilização da água para irrigação o RAS (Figura 5.16) apresentou uma água do tipo C3S1, isto é, um risco muito alto de salinização e um baixo risco de adsorção de sódio.

Tabela 5.9 – Assentamento Porto - Análise físico-química da água do poço

LABORATÓRIO DE ANÁLISES DE SOLO, ÁGUA E PLANTAS			
Endereço: Av. Interventor Mário Câmara, 2550, NATAL, RN			
Amostra n.º	371/14	Data da entrada: 27/03/2014 Data de ent	
Solicitante: VERITAS SERV. DE MEIO AMBIENTE			
Procedência: Porto - Ipanguaçu - RN			
Material	Água	Marca	AM 20
Coletor		Laboratório	X
Cliente			
COORD GEOG: 36° 48' 8,844" W / 05° 31' 7,9061" S			
Determinação*			Valor Máximo Permitido**
Temperatura ° C			
Cor uH			15,00
Odor			não objetável
Sabor			não objetável
Turbidez UT			5,00
pH			6 a 9,5
Condutividade elétrica, $\mu\text{S}/\text{cm}$			
Sólidos totais a 105 ° C, mg/L			
Sólidos dissolvidos totais, mg/L			1.000,00
Sólidos em suspensão, mg/L			
Alcalinidade total, mg/L CaCO_3			
Alcalinidade de hidróxido, mg/L CaCO_3			
Alcalinidade de carbonato, mg/L CaCO_3			
Alcalinidade de bicarbonato, mg/L CaCO_3			
Dureza, mg/L CaCO_3			
Nitrogênio amoniacal, mg/L NH_3			1,50
Nitrito, mg/L N			1,00
Nitrato, mg/L N			10,00
Cálcio, mg/L Ca^{17}			

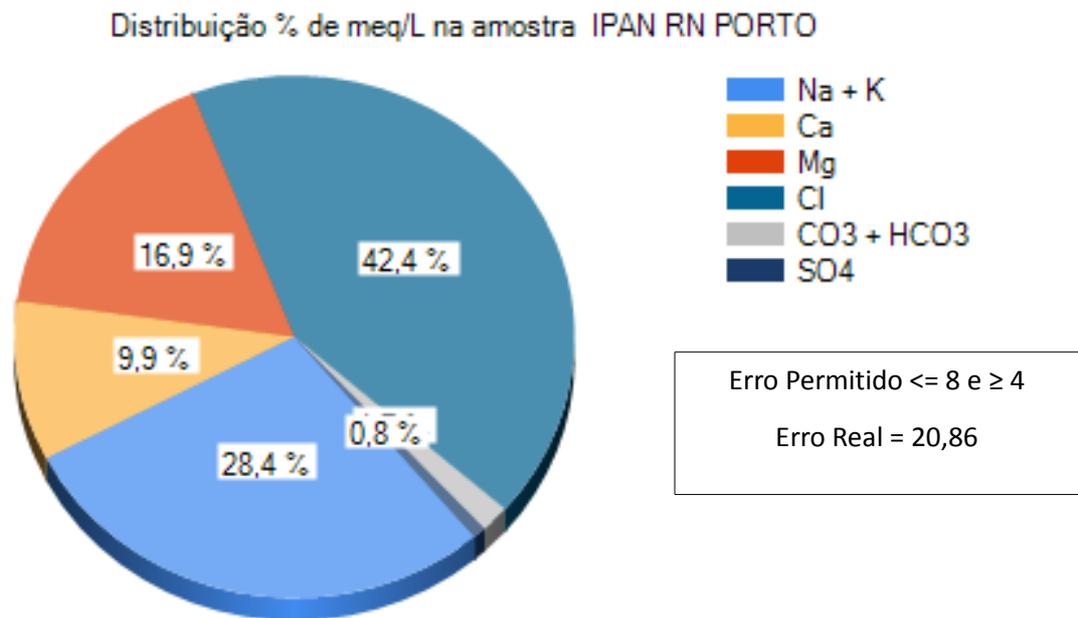


Figura 5.13 – Assentamento Porto - Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983)

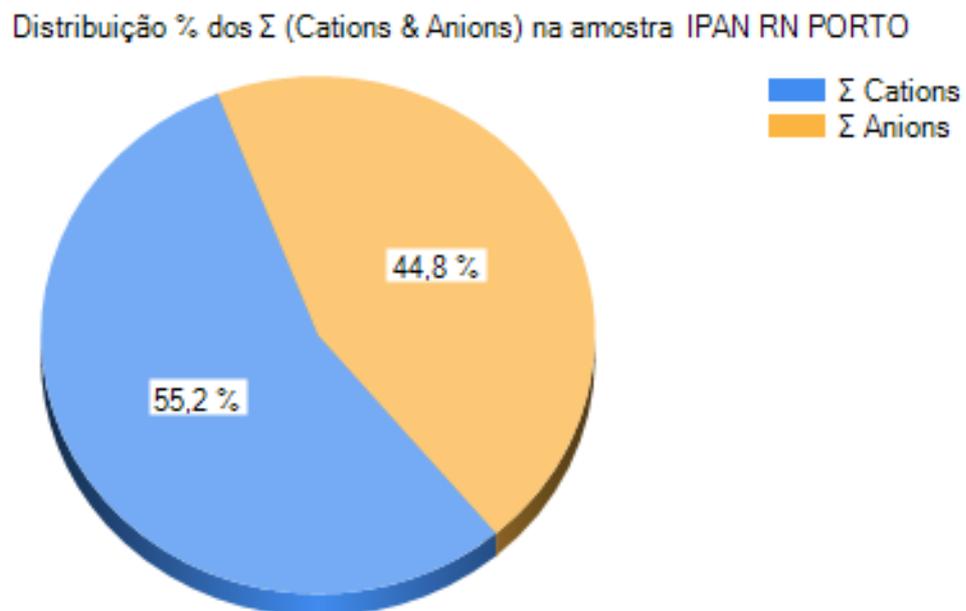


Figura 5.14 – Assentamento Porto - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)

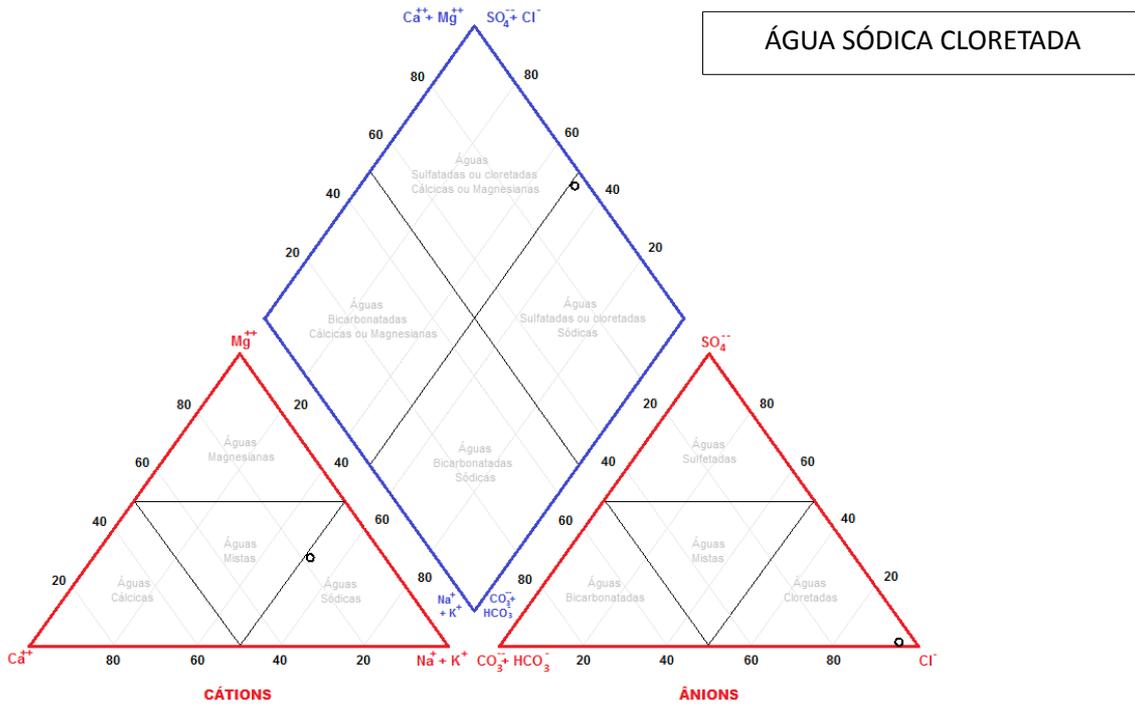


Figura 5.15 – Assentamento Porto - Diagrama Triangular de Piper

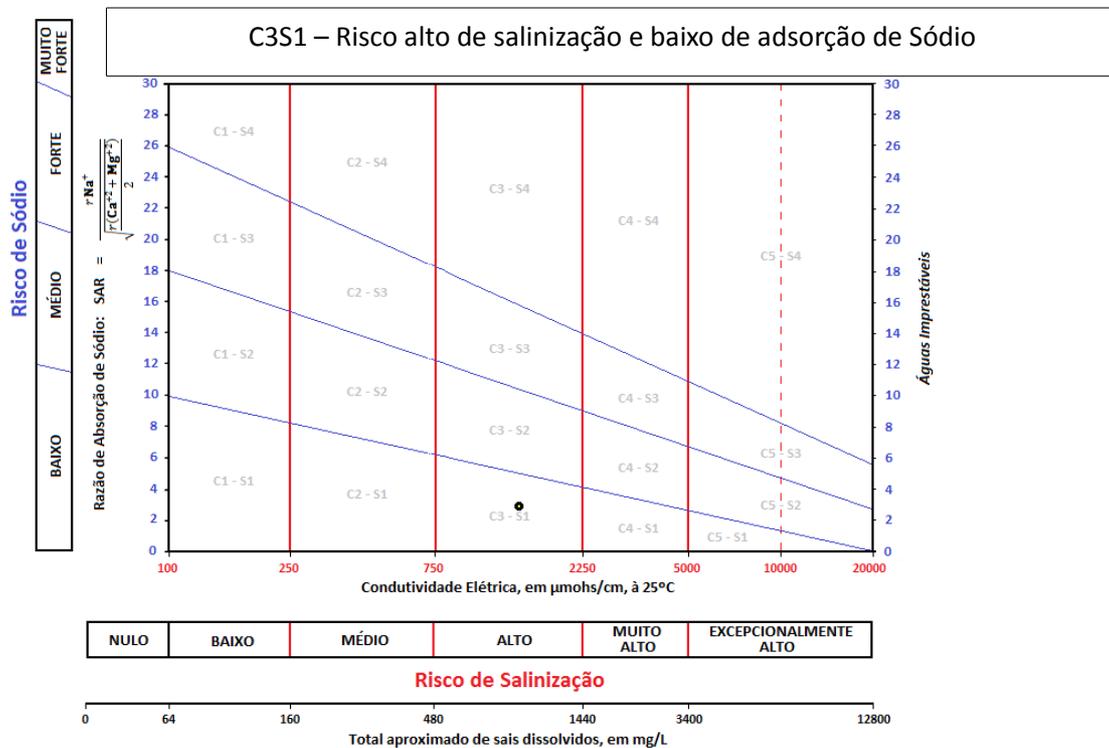


Figura 5.16 – Assentamento Porto - Diagrama USSL (United States Salinity Laboratory)

6. **MUNICÍPIO DE JANDAÍRA**

6.1- Caracterização Geográfica

O Município de Jandaíra, no IBGE sob o nº 2405108, com uma área de 426 km², está localizado no estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil, mais precisamente na Mesorregião Agreste Potiguar, Microrregião Baixa Verde, Folhas de Jandaíra (SB.24-X-D-III) e Pureza (SB.25-V-C-I), limitado ao Norte pelos municípios de Galinhos e São Bento do Norte, ao Sul pelos municípios de Lajes e Pedra Preta, à Leste pelos municípios de João Câmara e Pureza e à Oeste pelo município de Pedro Avelino.

6.2 - Fisiografia

Ipanguaçu tem um clima muito quente e semiárido com período chuvoso de março a abril, numa pluviometria média de 521,3 mm. A temperatura média anual é de 27,9°C e a humidade relativa média anual oscila no entorno de 74%, com 2400 horas anuais de insolação. Está inserido no Polígono das Secas. Topograficamente a sede municipal Jandaíra apresenta relevo com altitude de 121 metros.

6.3 - Geologia

O Município de Ipanguaçu se caracteriza pela ocorrência de Formação Jandaíra (Figura 6.1) em quase a totalidade da extensão geográfica do município de Jandaíra. É uma formação geológica composta predominantemente de rochas calcárias que mostram em seus perfis horizontes de folhelhos. Recobrimo, numa pequena área ao norte, encontra-se a Formação Barreiras constituída de sedimentos arenosos, areno-argilosos e siltosos.

A Formação Jandaíra se situa sobre a Formação Açú (constituída de sedimentos arenosos, siltosos e argilosos). O conjunto dessas formações geológicas compõe a denominada Bacia Potiguar.

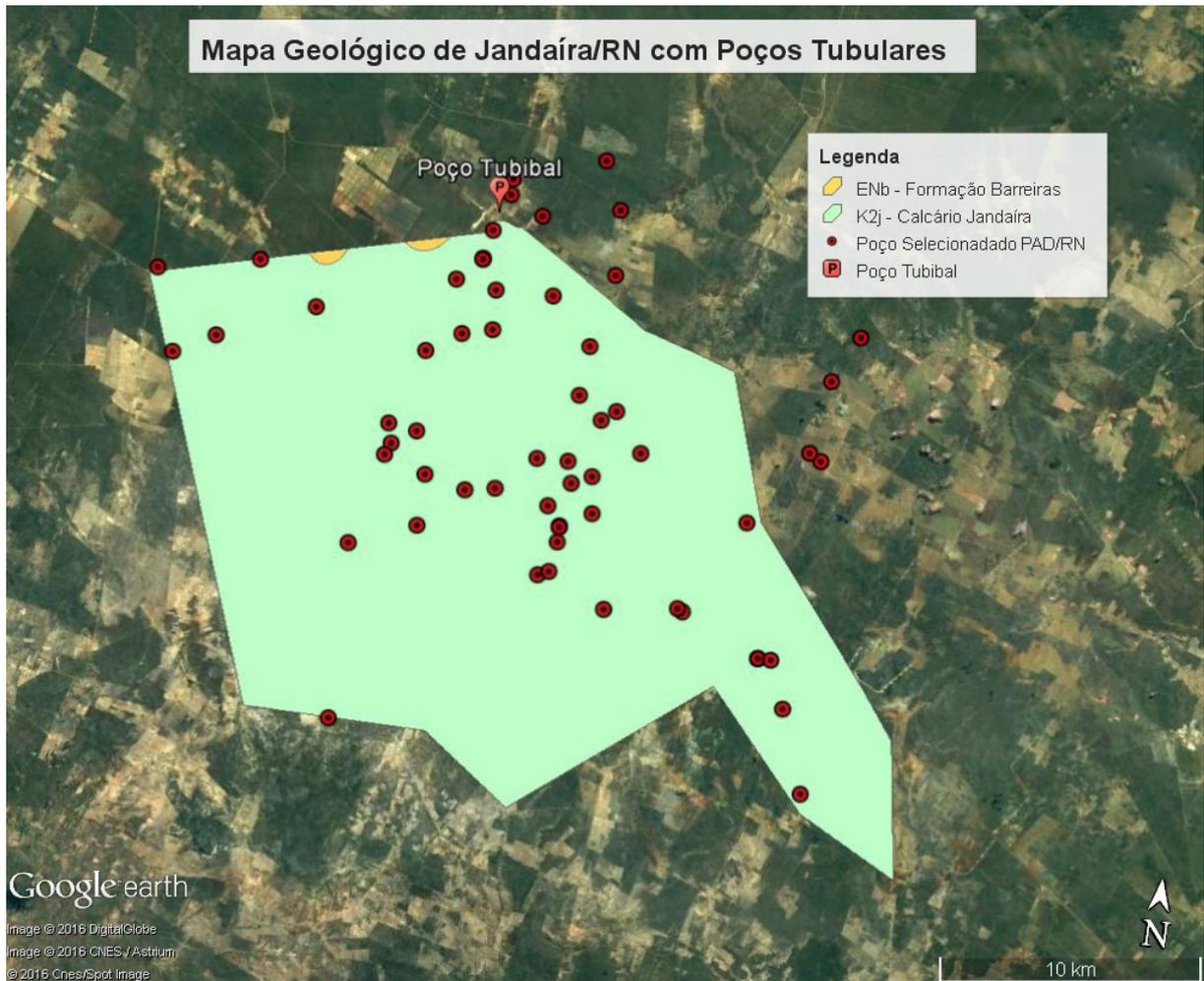


Figura 6.1 – Mapa Geológico de Jandaíra com Poços Tubulares

6.4 - Hidrogeologia

Do ponto de vista da hidrogeologia, o município de Jandaíra se caracteriza pela ocorrência de poços que captam quase que totalmente as águas subterrâneas de rochas calcárias. As profundidades variam entre 60 a 250 metros com vazões que atingem 20.000 litros por hora.

Com relação à salinidade, a água subterrânea apresenta teores de TDS (total de sólidos dissolvidos), na quase totalidade acima de 1000 L, por essa razão não aproveitável para consumo humano, devendo ser processada pelo sistema de osmose reversa no processo de dessalinização. Tanto a alta salinidade como possíveis contaminações de ordem bacteriológica são eliminadas, oferecendo a qualidade físico-química e bacteriológica adequada ao consumo humano.

Menos representativas, a geologia sedimentar dos sedimentos arenosos da Formação Barreiras, estão presentes em duas áreas de alguns km² na parte norte da área geográfica do município, que fazem parte do meio poroso e normalmente produzem água de boa qualidade físico-química para o consumo humano e para outras finalidades a exemplo do consumo animal, da indústria e da irrigação.

6.4.1 Cadastro de Poços

O município de Jandaíra, segundo o Cadastro de Poços da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) tem 102 poços perfurados entre 1977 e 2010.

A profundidade dos poços varia entre 67 e 250 metros. As vazões variam de 200 L/h até 24.000 L/h com salinidade variando entre 600 e 1.500 mg/L de sais totais.

6.4.2 Comunidade de Tubibal

A Comunidade de Tubibal, com aproximadamente 300 famílias e energia elétrica, não possui rede coletora de esgotos e suas casas dispõem de fossas sépticas, sendo o lixo recolhido.

Com relação à saúde a comunidade dispõe de posto de saúde e, no tocante à educação, tem uma escola denominada Escola Municipal Afra Barros.

O abastecimento de água é realizado através de dois poços tubulares e cisternas que são abastecidas por caminhões-pipa do Exército. Um dos poços fornece a água destinada a fins secundários e o outro para fins de consumo humano, através do fornecimento da água ao dessalinizador existente.

As cisternas fornecem água para áreas não cobertas pela pressão da água na rede de distribuição da comunidade, A Comunidade dispõe de um sistema de dessalinização atualmente necessitando de recuperação e adequação ao Programa Água Doce, tanto do ponto de vista técnico (obras civis e equipamento de dessalinização) como na área de metodologia e procedimentos para um moderno funcionamento do sistema instalado.

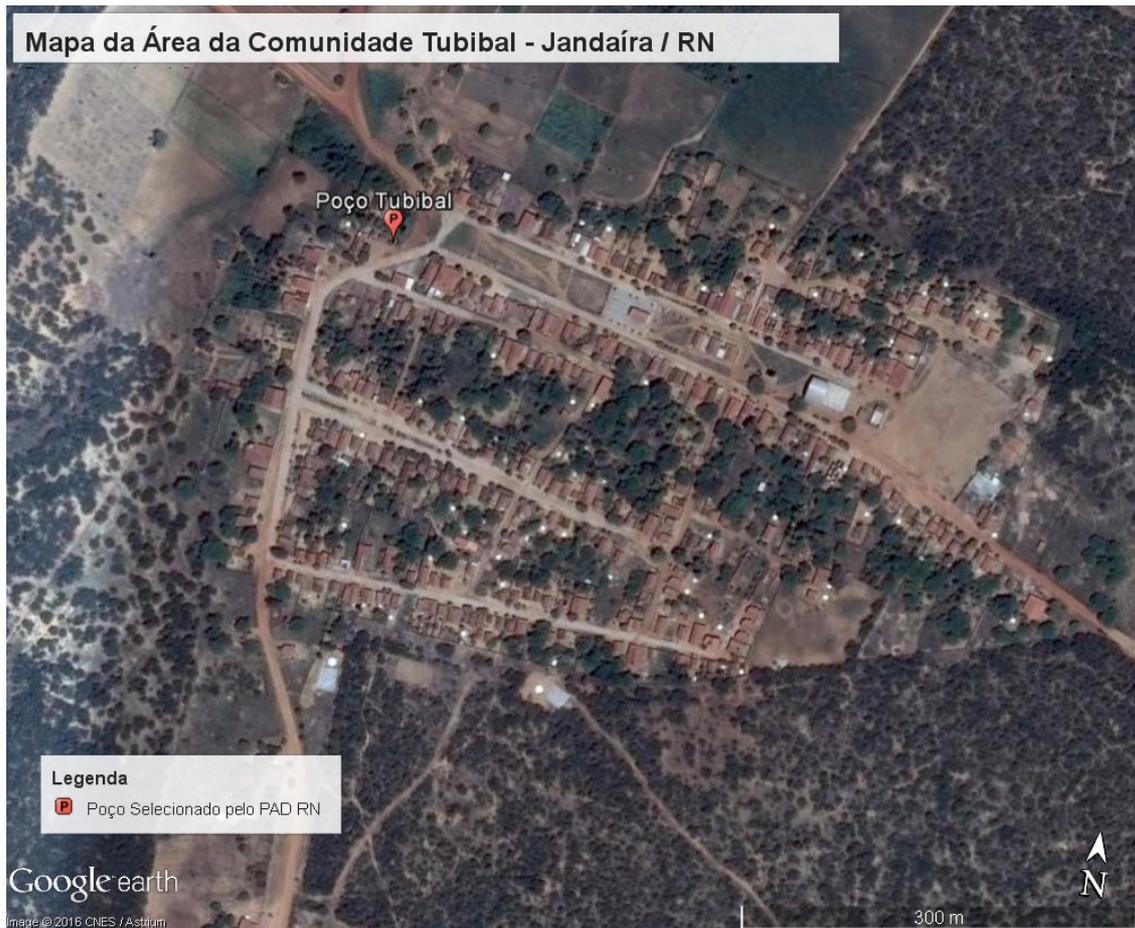


Figura 6.2 - Mapa da Área da Comunidade Tubibal.

6.4.2.1 O Poço tubular

Poço tubular que abastece a comunidade de Tubibal faz a captação da água subterrânea proveniente de rochas calcárias predominantes na região e tem como características;

- m) Geográficas – coordenadas geográficas latitude $5^{\circ}15'9,918''$ e longitude $36^{\circ}9'31,928''$.
- n) Construtivas – testado em 29/10/2014, o poço tem 52,00 metros de profundidade, revestido com diâmetro de 6 polegadas.
- o) Hidrogeológicas/hidrodinâmicas – captação em rocha cárstica, no aquífero Jandaíra livre. O nível estático é de 30,20 m, nível dinâmico de 30,59 m e rebaixamento de 0,39 m para uma vazão de $7,2 \text{ m}^3/\text{h}$ obtido no tempo de 12 horas de bombeamento.
- p) Hidrogeológicas/hidroquímicas – Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da ordem de 1680,00 mg/L.

6.4.2.2 Interpretação do teste de bombeamento

O teste de bombeamento realizado em 29/10/2014 (Tabela 6.1) no poço da comunidade de Tubibal teve a duração de 12 horas e foi utilizado o sistema de bomba submersível com o crivo a uma profundidade de 43,00 metros.

O rebaixamento do poço, provocado pelas perdas de cargas no poço e no aquífero à vazão constante (Q) de 7,2 m³/h, foi 0,39 m e a vazão específica (q) de 18,422 (m³/h/m).

A recuperação do nível piezométrico após o teste de bombeamento é praticamente imediato (2 minutos), mostrando, tal como no pequeno rebaixamento provocado pela descarga, as características de carga e recarga de um aquífero formado por cavernas, como o aquífero Jandaíra.

Tabela 6.1 – Tubibal - Teste de Bombeamento

MUNICÍPIO: Jandaíra		COORD UTM: LONG 814.955.;				
LOCAL: Tubibal		ZONA: 24				
CÓDIGO PAD:		COORD GEOG. 36°9'31,928"LC				
AQÜÍFERO: Cárstico						
PROF.	52.00 m	DATA: 24/10/ 2014				
NE (m)	30.200	ND (m)	30.590			
		Q (m ³ /h)				
BOMB EAMENTO						
Hora (h)	Tempo (m/n)	ND (m)	S (m)	Q (m ³ /h)	q = Q/S (m ³ /h/m)	Tempo (m/n)
	1	30,450	0,250	7,200	28,800	1
	2	30,500	0,300	7,200	24,000	2
	3	30,550	0,350	7,200	20,571	3
	4	30,550	0,350	7,200	20,571	4
	5	30,550	0,350	7,200	20,571	5
	7	30,550	0,350	7,200	20,571	7
	6	30,550	0,350	7,200	20,571	6
	8	30,550	0,350	7,200	20,571	8
	9	30,560	0,360	7,200	20,000	9
	10	30,570	0,370	7,200	19,459	10
	15	30,580	0,380	7,200	18,947	15
	20	30,590	0,390	7,200	18,462	20
	25	30,590	0,390	7,200	18,462	25
	30	30,590	0,390	7,200	18,462	30
	40	30,590	0,390	7,200	18,462	40
	50	30,590	0,390	7,200	18,462	50
1	60	30,590	0,390	7,200	18,462	60
	80	30,590	0,390	7,200	18,462	80
	100	30,590	0,390	7,200	18,462	100
2	120	30,590	0,390	7,200	18,462	120

Vazão Específica q ($m^3/h/m$)

Tempo (T) (min)	q ($m^3/h/m$)					
1	28,800	35,000				
2	24,000					
3	20,571					
4	20,571	30,000				
5	20,571					
6	20,571					
7	20,571					
8	20,571	25,000				
9	20,000					
10	19,459					
15	18,947	20,000				
20	18,462					
25	18,462					
30	18,462	15,000				
40	18,462					
50	18,462					
60	18,462	10,000				
80	18,462					
100	18,462					
120	18,462					
150	18,462	5,000				
180	18,462					
240	18,462					

Gráfico 6.1 – Tubibal - Curva Vazão Específica q ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$) x Tempo t (min)

6.4.2.2.1 - Vazão Máxima de Exploração – Q_{me}

A vazão máxima de exploração é a vazão produzida por um rebaixamento máximo disponível (RMD) da ordem de 40% da espessura da lâmina de água (ELA), que por sua vez é a diferença entre a profundidade (P) e o nível estático (NE) do poço, ou seja:

$$ELA = P - NE \text{ em que}$$

$$P = 52,00 \text{ m}$$

$$NE = 30,20 \text{ m}$$

$$ELA = 21,80 \text{ m}$$

$$RMD = ELA \times 0,40 = 21,80 \times 0,40 = 8,72 \text{ m}$$

Pelo Gráfico 6.2 obtêm-se a vazão específica após 12 horas de teste, ou seja,

$$q = 18,462 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

A vazão máxima de exploração Q_{me} será

$$Q_{me} = RMD \times q = 8,72 \text{ m} \times 18,462 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m} = 160,99 \text{ m}^3/\text{h}$$

6.4.2.2.2 - Vazão Recomendada do Poço (Q_r)

O não conhecimento do tipo, abertura e posição dos filtros do poço recomenda que, nesses casos, deve-se tomar a Vazão Recomendada como a vazão de teste do poço, considerando ainda a demanda de água da comunidade, ou seja, mantendo um bombeamento condizente com as necessidades mais prementes da população.

É evidente que este poço poderá produzir muito mais água se considerada a vazão máxima de exploração calculada pelo rebaixamento máximo disponível. No entanto, mesmo que se quisesse, esta própria vazão de exploração ($160,99 \text{ m}^3/\text{h}$) não poderia ser levada a efeito tendo em vista a restrição imposta pelo diâmetro do revestimento - 6 polegadas - e a alta velocidade da água nos filtros – maior que $3 \text{ cm}/\text{seg}$ – que o poço produziria, resultando em bombeamento com regime turbulento, de forma nenhuma recomendável pois elevaria desnecessariamente as perdas de carga, desperdiçando energia.

Desta forma, esta vazão não deverá ser considerada, mostrando simplesmente a possibilidade de se produzir uma vazão maior que a vazão de teste, desde que se tomasse a precaução de determinar, com segurança, o comprimento e o tipo de filtro para a determinação da vazão máxima de exploração em regime laminar.

Para o dimensionamento vazão recomendada do poço, além dos parâmetros hidrodinâmicos é necessário que se saiba o consumo total diário de água pela comunidade pelos diversos usos.

A Simulação – TABELA 6.2, foi executada a partir dos dados de população humana de 300 famílias, obtidos no diagnóstico da comunidade elaborado pela Veritas Engenharia Ambiental em 2014. Foi considerado ademais, que a escola existente tivesse pelo menos dois filhos em cada família que estariam estudando e para o posto de saúde o número referente à de 10% da do número de famílias da comunidade, gastando 20 litros por cada atendimento. Animais não foram considerados considerando que se abastecem do outro poço da comunidade.

Neste caso chega-se ao tempo (T) de funcionamento da bomba do poço de 6,67 horas por dia para a vazão de teste $Q_t = 7,2 \text{ m}^3/\text{h}$, considerada, para efeito de cálculo com segurança, a recuperação de 30% - relação entre a quantidade de água permeada e a quantidade de água de alimentação.

DISCRIMINAÇÃO	qt	gasto p unid (L/dia)	água de beber (L/dia)	recup sist (%)	total L/dia)	conc (L/dia)
população (fam)	300	40	12.000			
Escola (alunos)	600	3	1.800			
Posto de Saúde (atend)	30	20	600			
TOTAL ÁGUA BOA			14.400	0,3	48.000	30
pop (gado)		50				
pop (cap/ov)		18				
TOTAL						
SALDO PARA TANQUE						30
água de gasto		40				0
VOLUME TOTAL DE PRODUÇÃO DIÁRIA DO POÇO					48.000	

Ta

bela 6.2 Tubibal - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos

6.4.2.2.3 - Dimensionamento da Bomba do Poço

Para o dimensionamento da bomba do poço é necessário o cálculo da Altura Manométrica Total que é a soma das perdas de carga por elevação e distancia entre o poço e a caixa d'água e perdas na respectiva tubulação de transporte da água.

Cálculo de Altura Manométrica Total

Sejam os dados:

ALT (boca do poço até topo cx. d'água) = 3,00 m

ND (nível dinâmico) = 30,59 m

PB (profundidade da bomba) = 42,59 m

Dist (distancia entre poço/ cx. d'água) = 6,00 m

DA (diferença de altura ND/caixa d'água) = 33,59 m

CR (comprimento reto - metragem de tubulação) = 51,59 m

Tubulação em PVC

DI (diâmetro interno da tubulação) = 2 "

Curvas de 90° = 3

Tê de 90° = 1

AMT = 34,50 m (calculado com Programa AiOFlo v1,07)

Dimensionamento da Bomba

VAZÃO Q = 7,20 m³/h

D (diâmetro do poço) = 4" = 100,16 mm

Introduzidos os dados acima para os manuais de bomba submersível se pode obter:

Bomba para poço de 4", 1,5 CV, 7 estágios, AMT 35,00 m, VAZÃO 7,0 m²/h e para AMT 36,28 m, modelo 4R6 PB 07 360 – BOMBAS LEÃO;

Outros manuais de bombas submersíveis podem ser utilizados para cálculo das características de cada bomba seja SCHNEIDER, EBARA, DANCOR, KING, GIULLI E SIMILARES.

6.4.2.3 Hidroquímica

A água do poço de Tubibal tem um STD (sólidos totais dissolvidos) da ordem de 1.680,00 mg/L, é salôbra, não se prestando ao consumo humano e que pode ser consumida por gado, caprinos e ovinos. Mesmo considerando que a

salinidade possa dobrar em termos de valores, após ser processada pelas membranas do dessalinizador, esta água ainda serviria para abastecer caprinos e ovinos.

O Balanço Iônico (Figuras 6.3 e 6.4), calculado pelo Programa Qualigraf, resultou nos erros práticos de 1,65% pelo método de Custódio y Llamas (1983) e 0,83% pelo método de Logan (1965), conferindo que a análise da amostra de água foi executada corretamente, ou seja, os erros práticos estão dentro das margens percentuais (erro permitido) consideradas pela condutividade da água analisada e pela relação quantitativa entre cátions e ânions respectivamente. Pelo Programa ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) o Balanço Iônico resultou em 0,11%, abaixo do limite máximo permitido de 10%.

Pelo Gráfico de Piper (Figura 6.6) a água é considerada mista cloretada.

Com relação à utilização da água para irrigação o RAS (Figura 6.5) apresentou uma água do tipo C4S1, isto é, de risco muito alto de salinização e um baixo risco de adsorção de sódio.

Tabela 6.3 – Tubibal - Análise físico-química da água do poço

LABORATÓRIO: NAAE - NÚCLEO DE ANÁLISES DE ÁGUA, ALIMENTOS E EFLUENTES DA FUI				
Endereço: Av. Salgado Filho, 1559, Tiraí, NATAL, RN				
Certificado de análise n.º 3593/3014		Data da entrada: 12/11/2014 Data de ent		
Solicitante: VERITAS SERV. DE MEIO AMBIENTE				
Procedência: Tubibal - Jandaíra - RN				
Material	Água	Marca		
Coletor		Laboratório	X	Cliente
COORD GEOG: 36° 48' 8.844" W / 05° 31' 7.9061" S				
Determinação *				Valor Máximo Permitido**
Temperatura ° C				
Cor uH				15.00
Odor				não objetável
Sabor				não objetável
Turbidez UT				5.00
pH				6 a 9.5
Condutividade elétrica, µS/cm				
Sólidos totais a 105 ° C, mg/L				
Sólidos dissolvidos totais, mg/L				1.000.00
Sólidos em suspensão, mg/L				
Alcalinidade total, mg/L CaCO ₃				
Alcalinidade de hidróxido, mg/L CaCO ₃				
Alcalinidade de carbonato, mg/L CaCO ₃				
Alcalinidade de bicarbonato, mg/L CaCO ₃				
Dureza, mg/L CaCO ₃				
Nitrogênio amoniacal, mg/L NH ₃				1.50
Nitrito, mg/L N				1.00
Nitrato, mg/L N				10.00
Cálcio, mg/L Ca ¹²				
Magnésio, mg/L Mg ¹²				

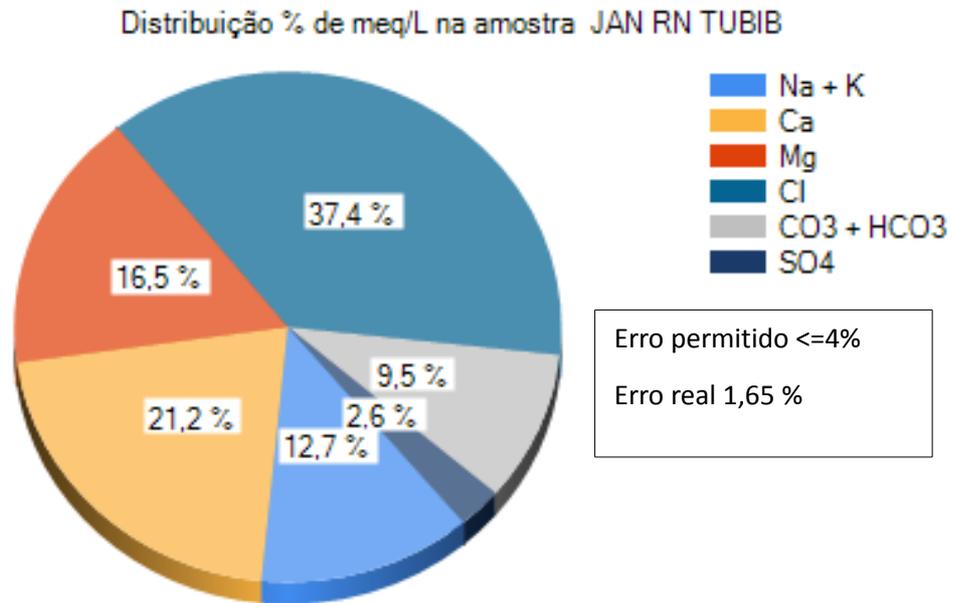


Figura 6.3 – Tubibal – Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983).

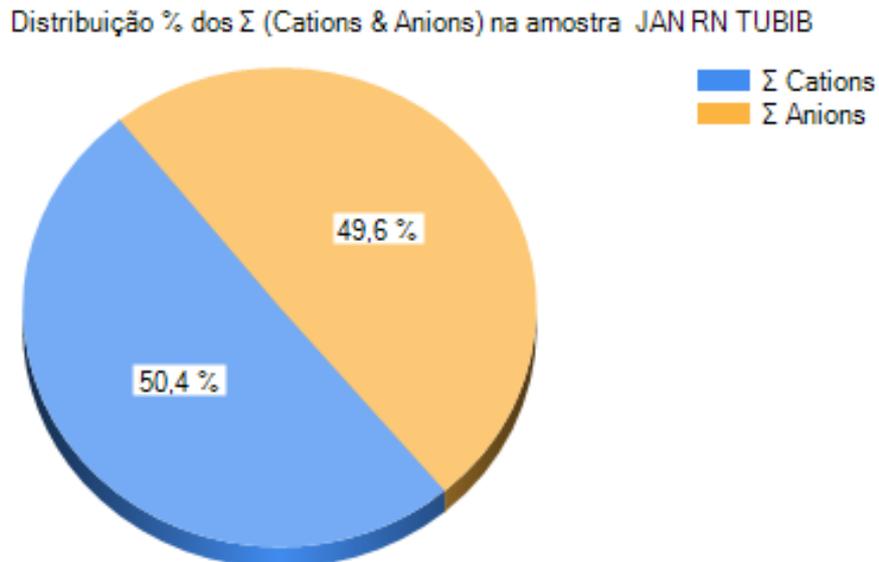


Figura 6.4 – Tubibal - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)

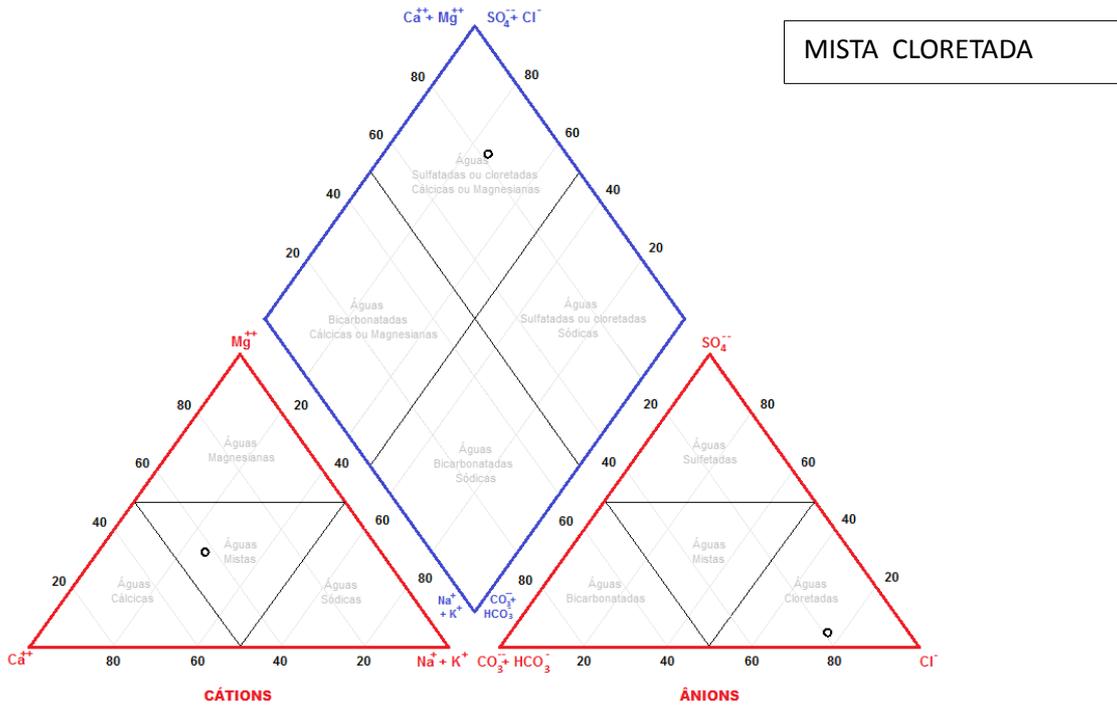


Figura 6.5 – Tubibal - Diagrama de Piper

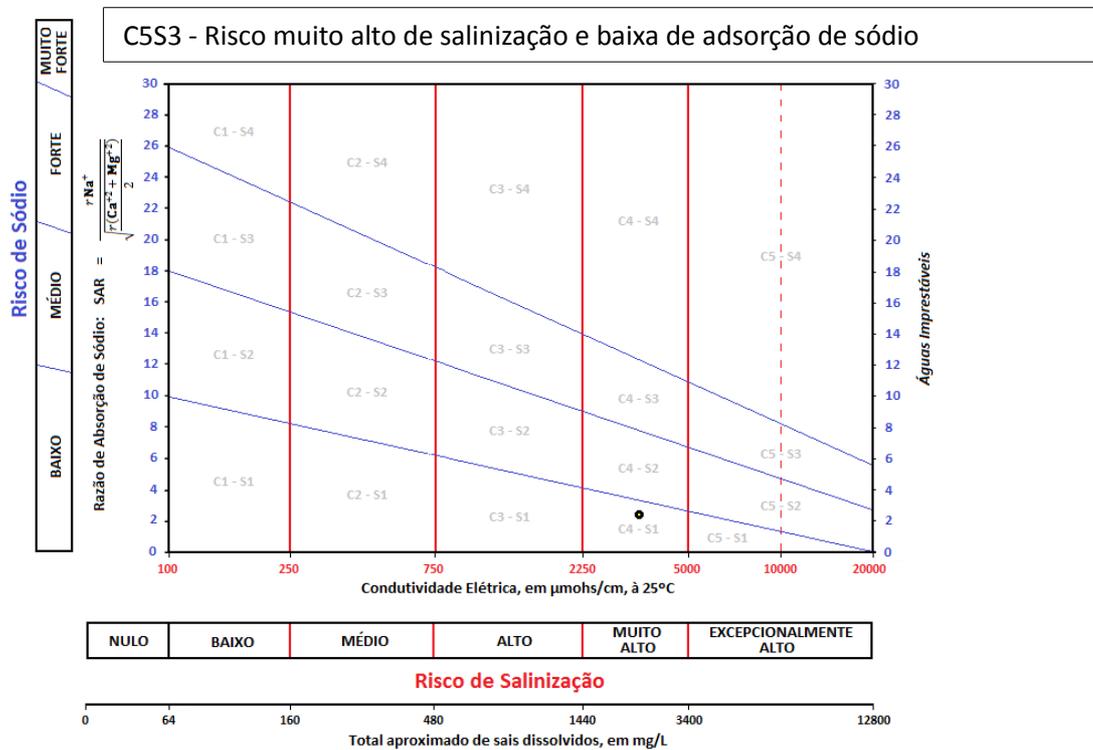


Figura 6.6 – Tubibal - Diagrama USSS (United States Salinity Laboratory)

7. MUNICÍPIO DE BENTO FERNANDES

7.1 Caracterização Geográfica

Com uma área de 335 Km², o município de Bento Fernandes, codificado no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) sob o n.º 2401602 está situado no Rio Grande do Norte, meso-Região Agreste Potiguar micro-Região Baixa Verde, inserido nas folhas Picuí ([SB.25-V-C-IV](#)) da SUDENE. Está ligada a capital Natal pelas rodovias BR-406 e RN-120 numa distância de aproximadamente 102 Km.

7.2 Fisiologia

Com uma altitude variando entre 100 e 200 m, Bento Fernandes tem um clima muito quente e semi-árido e uma temperatura média anual de 26° C. A pluviometria média anual é da ordem de 522 mm.

7.3 Geologia

Geologicamente o município de Bento Fernandes se caracteriza por estar assentado sobre as rochas do embasamento cristalino constituído da seguinte sequência, das rochas mais antigas para as mais recentes:

PP2 jc – Complexo João Câmara, migmatitos do Proterozóico (2349 milhões de anos).

PP2 sc – Complexo Santa Cruz, augen-gnaiss granítico, leuco-orto gnaiss e quartzo monzonítico a graníticos do Proterozóico (2069 milhões de anos).

NP3 ss – Formação Seridó, biotita xisto, metarritmito, clorita-sericita xisto do Neoproterozóico (640 milhões de anos).

NP3_gamma_2it – Suite Peraluminosa – granada-muscovita-biotita do Neoproterozóico.

NP3_gamma_2di – Suite Natal – monzogranitos e leucosienogranitos.

N23C – Depósitos colúvio-eluviais, arenosos, areno-argilosos e conglomeráticos.

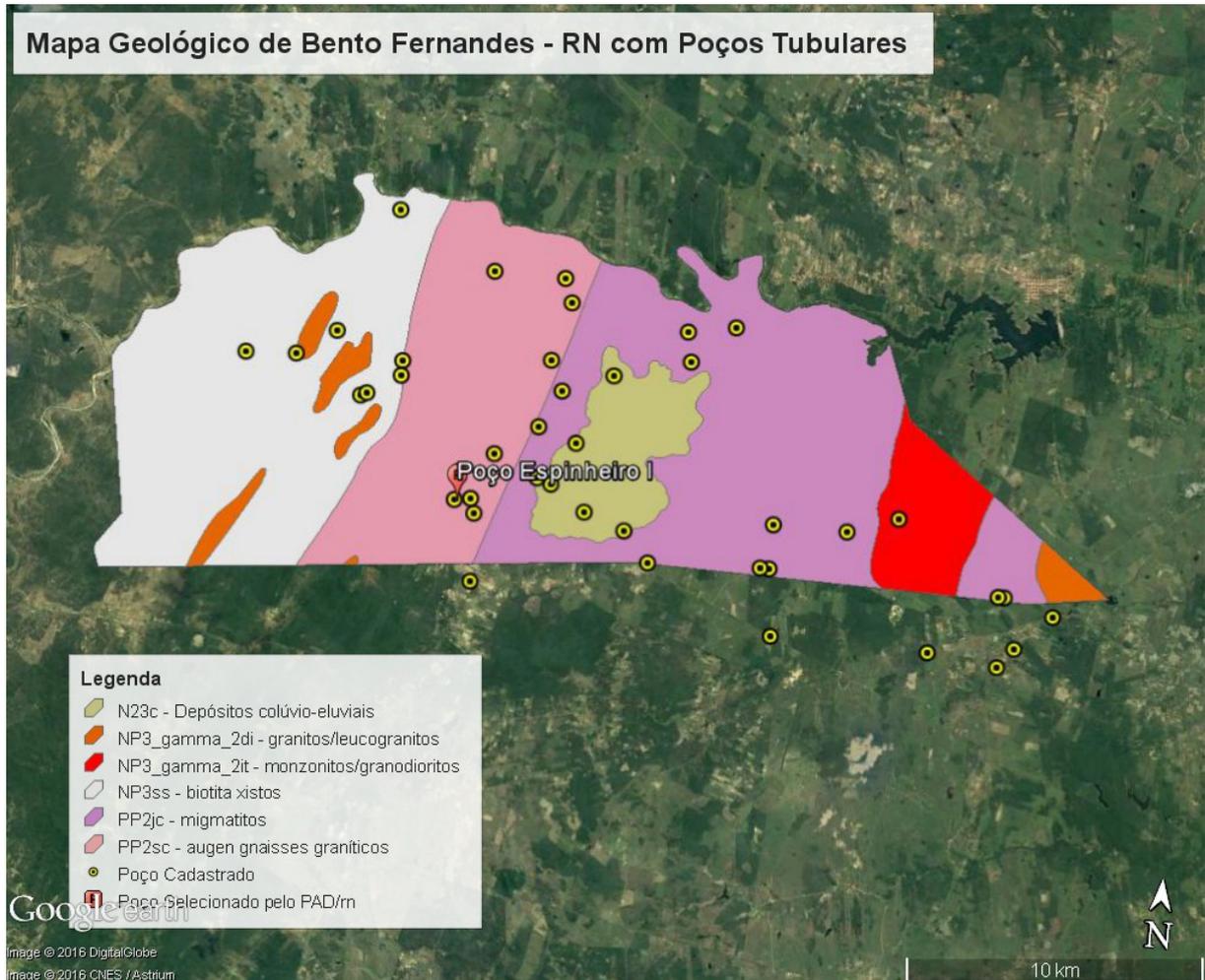


Figura 7.1 – Mapa Geológico de Bento Fernandes e Poços Tubulares

7.4 Hidrogeologia

Geologicamente o município de Bento Fernandes está situado sobre as rochas do embasamento cristalino cujo armazenamento da água se dá nas fraturas e fissuras que as rochas apresentam, como resultado dos esforços tectônicos terrestres e que produzem baixas vazões que variam entre 0,20 a 5,0 m³/h em poços cujas profundidades não ultrapassam 70 metros.

Com relação à salinidade, a água subterrânea apresenta teores de TDS (total de sólidos dissolvidos), na quase totalidade acima de 1.000 mg/L que chegam, em alguns poços a 10.000 mg/L e por essa razão não é aproveitável para consumo humano, devendo ser processada pelo sistema de osmose reversa no processo de dessalinização. Tanto a alta salinidade como possíveis contaminações de ordem

bacteriológica são eliminadas, oferecendo a qualidade físico-química e bacteriológica adequada ao consumo humano.

Este universo onde predomina salinidades inadequadas ao consumo humano, todavia se presta ao consumo animal e à irrigação, de conformidade com o tipo de solo e cultivo que se quer explorar.

7.4.1 Cadastro de Poços

O município de Bento Fernandes, segundo o Cadastro de Poços da SEMARH tem 59 poços perfurados entre 1973 e 2009.

A profundidade dos poços varia entre 31 e 70 metros, com predominância na faixa de 40 a 50 metros. As vazões variam de 200 L/h até 5.000 L/h com salinidade variando entre 1.000 e 10.000 mg/L de sais totais. A totalidade dos poços capta água das rochas do embasamento cristalino, em que pese alguns se situarem sobre os depósitos colúvio-eluviais.

7.4.2 Assentamento Espinheiro I

O Assentamento Espinheiro I, com aproximadamente 120 famílias e energia elétrica, não possui rede coletora de esgotos e suas casas dispõem de fossas sépticas, sendo o lixo recolhido semanalmente.

Com relação à saúde a comunidade dispõe de posto de saúde que funciona uma vez por semana e, no tocante à educação, dispõe de uma escola denominada Escola Municipal Tião Gomes.

O abastecimento de água para o consumo humano é realizado através de caminhões-pipa que traz a água de sede municipal de Pureza ou de água de chuva armazenada em cisternas residenciais.

O abastecimento de água para fins secundários (água de gasto e dessedentação animal) é realizado através de captação manual da água no açude existente ou de cisternas residenciais.

A comunidade dispõe de 3 poços que estão desativados, tendo sido um deles, testado em abril de 2014, cujos dados estão analisados a seguir.



Figura 7.2 – Mapa da Área de Espinheiro I – Bento Fernandes/RN

7.4.2.1 O Poço tubular

O Poço tubular que abastece o Assentamento Espinheiro I faz a captação da água subterrânea proveniente de rochas do embasamento cristalino predominantes na região e tem como características;

- q) Geográficas – coordenadas geográficas latitude $5^{\circ}42'9,677''$ e longitude $35^{\circ}49'57,122''$.
- r) Construtivas – testado em 20/04/2014, o poço tem 35,00 metros de profundidade, revestido com diâmetro de 5 polegadas.
- s) Hidrogeológicas/hidrodinâmicas – captação em rocha do embasamento cristalino (aquífero fissural livre). O nível estático é de 5,63 m, nível dinâmico de 6,516 m e rebaixamento de 0,886 m para uma vazão de 2,482 m³/h obtido no tempo de 12 horas de bombeamento.
- t) Hidrogeológicas/hidroquímicas – Sólidos Totais Dissolvidos (STD) da ordem de 1.902,00 mg/L

7.4.2.2 Interpretação do teste de bombeamento

O teste de bombeamento revelou uma vazão estabilizada com bomba submersa de $Q = 2,482 \text{ m}^3/\text{h}$ para um rebaixamento do nível dinâmico $ND = 6,516 \text{ m}$ e uma vazão específica $q = 2,801 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ para 12 horas de teste (Tabela 01).

Esses números, em se tratando de poços perfurados em terrenos cristalinos, se situam acima da média geral que é da ordem de $Q = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ para a vazão de teste de 12 horas de bombeamento.

A curva do gráfico 7.1 – vazão específica q ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$) x tempo t (min) mostra evolução normal das perdas de carga com o tempo, deixando entrever uma tendência matemática do nível dinâmico nas últimas horas do teste, para uma vazão específica $q = 2.5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$, considerada a curva obtida $y = 6,36x - 0,143$ para o tempo de 12 horas de bombeamento.

O teste de recuperação do nível mostra que o poço após 5 horas recupera o seu nível estático, ou seja, o nível original de equilíbrio hidráulico local do aquífero.

Tabela 7.1 – Assentamento Espinheiro I – Teste de Bombeamento

MUNICÍPIO: Bento Fernandes/RN		COORD UTM: LONG 186.233.289 m / LA				
LOCAL: Espinheiro I		ZONA: 25				
CÓDIGO PAD:		COORD GEOG. 35°49'57.122" LONG W /				
ADÜIFERO: Fissural						
PROF. (m)	35,00 m	DATA: 20 DE ABRIL 2014	IB (min)-			
NE (m)	5,630	ND (m)	6,516			
BOMBAMENTO						
Hora (h)	Tempo (min)	ND (m)	S (m)	Q (m ³ /h)	q = Q / S (m ³ /h)/m	Tempo (min)
	1	6,000	0,370	2,482	6,708	
	2	6,055	0,425	2,482	5,840	
	3	6,060	0,430	2,482	5,772	
	4	6,080	0,450	2,482	5,516	
	5	6,105	0,475	2,482	5,225	
	6	6,125	0,495	2,482	5,014	
	8	6,125	0,495	2,482	5,014	
	10	6,190	0,560	2,482	4,432	1
	15	6,220	0,590	2,482	4,207	1
	20	6,255	0,625	2,482	3,971	2
	25	6,275	0,645	2,482	3,848	2
	30	6,290	0,660	2,482	3,761	3
	40	6,325	0,695	2,482	3,571	4
	50	6,350	0,720	2,482	3,447	5
1	60	6,370	0,740	2,482	3,354	6
	70	6,385	0,755	2,482	3,287	7
	80	6,400	0,770	2,482	3,223	10
	100	6,420	0,790	2,482	3,142	12

Tempo t(min)	q=Q/S lm ² /ht/m					
1	6,708					
2	5,840	8,000				
3	5,772					
4	5,516	7,000				
5	5,225					
6	5,014					
8	5,014	6,000				
10	4,432					
15	4,207					
20	3,971	5,000				
25	3,848					
30	3,761	4,000				
40	3,571					
50	3,447					
60	3,354	3,000				
70	3,287					
80	3,223	2,000				
100	3,142					
120	3,103					

$$y = 6,3599x^{-0,142}$$

$$R^2 = 0,963$$

Vazão Específica q (m³/h/m)

Tempo T (min)

Gráfico 7.1 - Assentamento Espinheiro I – Curva Vazão Específica q (m³/h/m) x Tempo t (min).

Tempo T (min)

7.4.2.2.1 Vazão Máxima de Exploração – Qme

A vazão máxima de exploração é a vazão produzida por um rebaixamento máximo disponível (RMD) da ordem de 40% da espessura da lâmina de água (ELA), que por sua vez é a diferença entre a profundidade (P) e o nível estático (NE) do poço, ou seja:

$$ELA = P - NE \text{ em que}$$

$$P = 35,00 \text{ m}$$

$$NE = 5,63 \text{ m}$$

$$ELA = 29,37 \text{ m}$$

$$RMD = ELA \times 0,40 = 29,37 \times 0,40 = 11,75 \text{ m}$$

Pelo Gráfico 7.1 obtêm-se a vazão específica após 12 horas de teste, ou seja,

$$q = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$$

A vazão máxima de exploração Q_{me} será

$$Q_{me} = RMD \times q = 11,75 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m} = 29,37 \text{ m}^3/\text{h}$$

7.4.2.2.2. Vazão Recomendada do Poço (Q_r)

O não conhecimento da posição e capacidade de produção das fraturas do poço recomenda que, nesses casos, deve-se tomar a Vazão Recomendada como a vazão de teste do poço, considerando ainda a demanda de água da comunidade, ou seja, mantendo um bombeamento condizente com as necessidades mais prementes da população.

É evidente que este poço poderá produzir mais água se considerada a vazão máxima de exploração calculada pelo rebaixamento máximo disponível. No entanto, mesmo que se quisesse esta própria vazão de exploração ($29,37 \text{ m}^3/\text{h}$) não deveria ser levada em consideração tendo em vista a restrição imposta pelo diâmetro da tubulação 4,5 polegadas e a velocidade da água através das fraturas para o interior do poço, podendo resultar em bombeamento com regime turbulento, de forma nenhuma recomendável elevando desnecessariamente as perdas de carga, desperdiçando energia.

Para o dimensionamento vazão recomendada do poço, além dos parâmetros hidrodinâmicos é necessário que se saiba o consumo total diário de água pela comunidade pelos diversos usos.

Tabela 7.2 – Espinheiro I - Planilha de Cálculo para o Dimensionamento da bomba do poço pelos usos

DISCRIMINAÇÃO	qt	gasto p unid (L/dia)	água de beber (L/dia)	recup sist (%)	total L/dia)	conc (L/dia)
população (fam)	120	40	4.800			
Escola (alunos)	240	3	720			
P Saúde (atend)	12	20	240			
TOTAL ÁGUA BOA			5.760	0,3	19.200	13,4
pop (gado)		50				
pop (cap/ov)		18				
TOTAL						
SALDO PARA TANQUE						13,4
água de gasto	120	200			24.000	
VOLUME TOTAL DE PRODUÇÃO DIÁRIA DO POÇO					43.200	

A Simulação – TABELA 7.2, foi executada a partir dos dados de população humana de 120 famílias, obtidos no diagnóstico da comunidade elaborado pela Veritas Engenharia Ambiental em 2013. Foi considerado ademais, que a escola existente tivesse pelo menos dois filhos em cada família que estariam estudando e para o posto de saúde o número referente à de 10% do número de famílias da comunidade, gastando 20 litros por cada atendimento. Animais não foram considerados considerando que se abastecem do outro poço da comunidade.

Neste caso chega-se ao tempo (T) de funcionamento da bomba do poço de 11,99 horas por dia para a vazão de teste $Qt = 2,482 \text{ m}^3/\text{h}$, considerada, para efeito de cálculo com segurança, a recuperação de 30% - relação entre a quantidade de água permeada e a quantidade de água de alimentação.

7.4.2.2.3 Dimensionamento da Bomba do Poço

Para o dimensionamento da bomba do poço é necessário o cálculo da Altura Manométrica Total que é a soma das perdas de carga por elevação e distancia entre o poço e a caixa d'água e perdas na respectiva tubulação de transporte da água.

Cálculo de Altura Manométrica Total

Sejam os dados:

ALT (boca do poço até topo cx. d'água) = 7,00 m

ND (nível dinâmico) = 6,52 m

PB (profundidade da bomba) = 12,62 m

Dist (distancia entre poço/ cx. d'água) = 600,00 m

DA (diferença de altura ND/caixa d'água) = 13,52 m

CR (comprimento reto - metragem de tubulação) = 619,62 m

Tubulação em PVC

DI (diâmetro interno da tubulação) = 2 “

Curvas de 90° = 3

Tê de 90° = 1

AMT = 15,18 m (calculado com Programa AiOFlo v1,07)

Dimensionamento da Bomba

VAZÃO Q = 2,482 m³/h

D (diâmetro do poço) = 4” = 100,16 mm

Introduzidos os dados acima para os manuais de bomba submersível se pode obter:

Bomba para poço de 4”, 0,5 CV, 3 estágios, AMT 16,00 m, VAZÃO 2,482 m³/h, modelo 4R3R PA-03 230 – BOMBAS LEÃO;

Outros manuais de bombas submersíveis podem ser utilizados para cálculo das características de cada bomba seja SCHNEIDER, EBARA, DANCOR, KING, GIULLI E SIMILARES.

7.4.2.3. Hidroquímica

A água do poço de Espinheiro I tem um STD (sólidos totais dissolvidos) da ordem de 1.902,00 mg/L, é salôbra, não se prestando ao consumo humano e que pode ser consumida por gado, caprinos e ovinos. Mesmo considerando que a salinidade possa dobrar em termos de valores, após ser processada pelas membranas do dessalinizador, esta água ainda serviria para abastecer gado, caprinos e ovinos.

O Balanço Iônico (Figuras 7.3 e 7.4), calculado pelo Programa Qualigraf, resultou nos erros práticos de 0,00% pelo método de Custódio y Llamas (1983) e

0,00% pelo método de Logan (1965), conferindo que a análise da amostra de água foi executada corretamente, ou seja, os erros práticos estão dentro das margens percentuais (erro permitido) consideradas pela condutividade da água analisada e pela relação quantitativa entre cátions e ânions respectivamente. Pelo Programa ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) o Balanço Iônico resultou em 0,48%, abaixo do limite máximo permitido de 10%.

Pelo Gráfico de Piper (Figura 7.6) a água é considerada sódica bicarbonatada.

Com relação à utilização da água para irrigação o RAS (Figura 6.5) apresentou uma água do tipo C4S2, isto é, de risco muito alto de salinização e um médio risco de adsorção de sódio.

Os altos teores/índices de cor (465,00 uH), turbidez (41,72 UT) e sílica (564,04 mg/L) MOSTRAM CLARAMENTE QUE O POÇO FOI TESTADO SEM TER ANTES PASSADO PELO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO E LIMPEZA COM COMPRESSOR. DESTA FORMA, TORNA-SE OBRIGATÓRIO A APLICAÇÃO DESSE PROCESSO para que os novos teores/índices possam ser aceitos para o processamento da água de alimentação pelo equipamento de dessalinização, ou seja, cor ($\leq 15,00$ uH) turbidez ($\leq 5,00$ UT) e sílica (< 100 mg/L, de preferência 0,00 mg/L).

Tabela 7.3 – Assentamento Espinheiro I - Análise físico-química da água do poço

LABORATÓRIO: AQUANALOUS				
Endereço: Av. Ayrton Senna, 357, Capim Macio, NATAL, RN				
Certificado de análise n.º 3291/2013		Data da entrada: 23/08/2013		
Solicitante: VERITAS SERV. DE MEIO AMBIENTE				
Procedência: Assentamento Espinheiro I, RN				
Material	Água	Marca		
Coletor		Laboratório	X	Cliente
COORD GEOG: 35° 49' 57,122" W / 05° 42' 9,677" S				
Determinação*				Valor Máximo Permitido**
Temperatura ° C				
Cor uH				15,00
Odor				não objetável
Sabor				não objetável
Turbidez, UT				5,00
pH				6 a 9,5
Condutividade elétrica, uS/cm				
Sólidos totais a 105 ° C, mg/L				
Sólidos dissolvidos totais, mg/L				1.000,00
Sólidos em suspensão, mg/L				
Alcalinidade total, mg/L CaCO ₃				
Alcalinidade de hidróxido, mg/L CaCO ₃				
Alcalinidade de carbonato, mg/L CaCO ₃				
Alcalinidade de bicarbonato, mg/L CaCO ₃				
Dureza, mg/L CaCO ₃				
Nitrogênio amoniacal, mg/L NH ₃				1,50
Nitrito, mg/L N				1,00
Nitrato, mg/L N				10,00

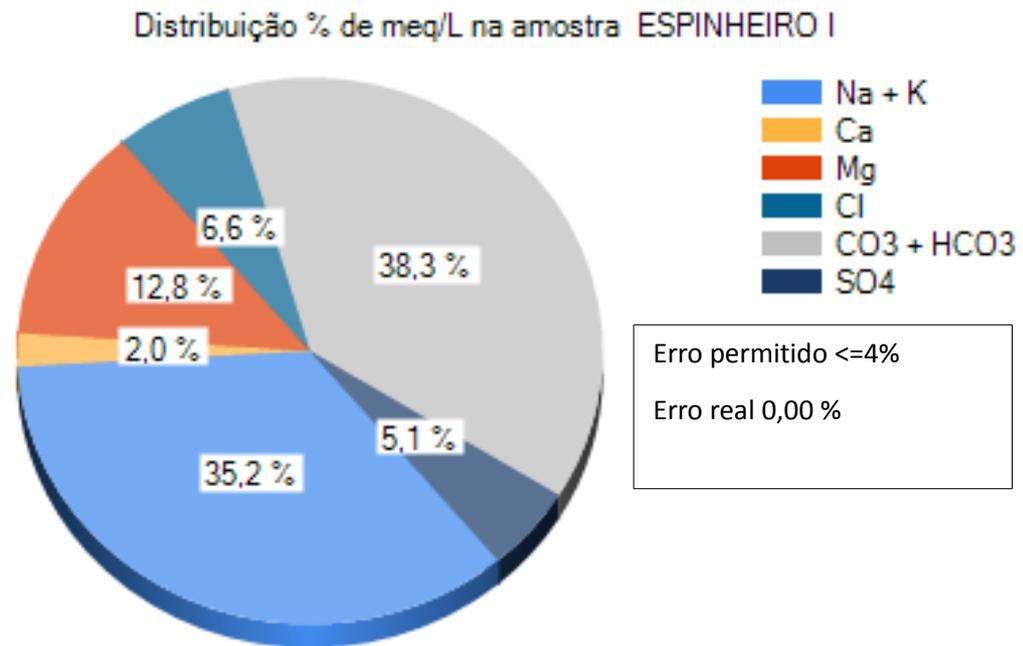


Figura 7.3 – Assentamento Espinheiro I - Diagrama Circular - Balanço Iônico, (Custódio & Llamas, 1983).

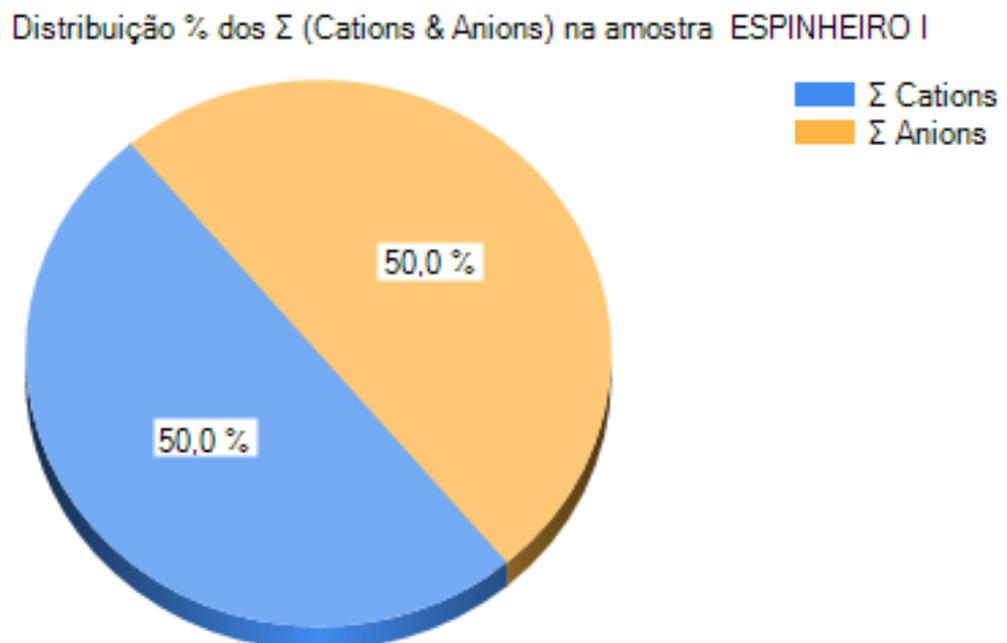


Figura 7.4 – Tubibal - Diagrama Circular - Balanço Iônico (Logan, 1965)

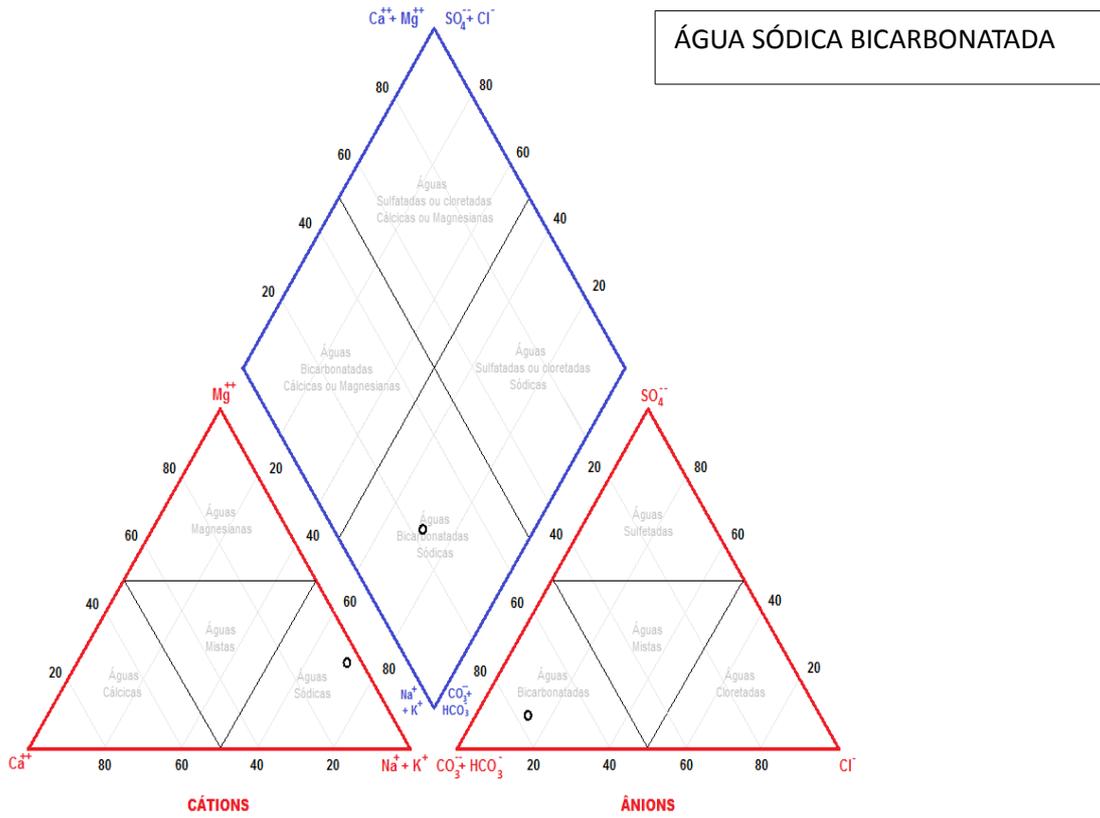


Figura 7.5 – Assentamento Espinheiro I - Diagrama de Piper

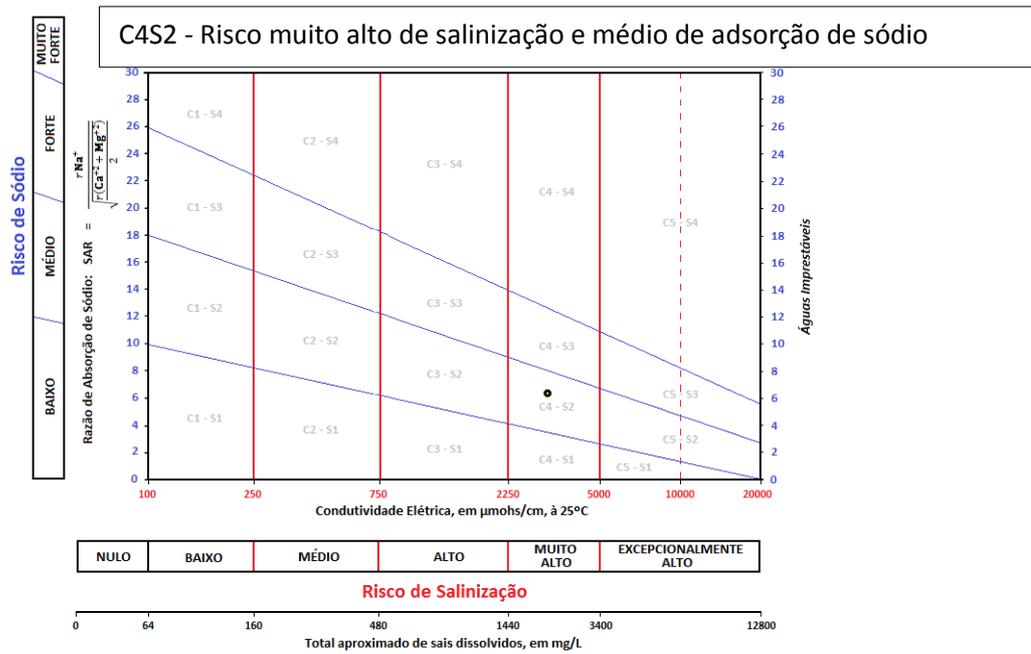


Figura 6.6 – Assentamento Espinheiro - Diagrama USSSL (United States Salinity Laboratory)

8 CONCLUSÕES

O trabalho ora apresentado é o resultado do trabalho de escritório e campo e respectiva levantamento geológico regional e análise hidrogeológica local dos poços construídos para o abastecimento de água nos municípios norteriograndenses de Ipanguaçu, Jandaíra e Bento Fernandes.

Em comum, o fato de que a água subterrânea captada por poços em aquíferos diferentes, com águas de teor salino incompatíveis com o consumo humano e, dessa forma, selecionados pela equipe técnica do Programa Água Doce / RN, para instalação de unidades de dessalinização obedecendo à metodologia e aos procedimentos técnicos e sociais do referido programa.

Os poços das comunidades denominadas de Capivara, Assentamento Itu, Assentamento Porto no município de Ipanguaçu e Tubibal no município de Jandaíra, apresentam vazões de teste em torno de 6,5 m³/h com boa capacidade de produção que poderão suprir as demandas atuais de água. Considerando que a salinidade desses poços, apresentada em termos de TDS (total de sólidos dissolvidos), não é muito alta (entre 900 e 1800 mg/L), os usos que se podem fazer abarcam desde a água de gasto até a dessedentação animal de pequenos animais domésticos, gado, caprinos e ovinos sem a necessidade da utilização da água do concentrado do processo de dessalinização da água de alimentação dos poços.

O poço da comunidade denominada Espinheiro I no município de Bento Fernandes apresentou vazão de teste que pôde ser recomendada, de 2,482 m³/h que também poderá suprir as demandas tanto de água para consumo quanto de gasto e dessedentação animal. Neste caso é importante observar que o poço, antes ser instalado deve, obrigatoriamente, ser desenvolvido e limpo com compressor.

A complementação prática para o correto funcionamento dos poços, após a instalação dos sistemas de dessalinização é a manutenção e o monitoramento de níveis e qualidade da água.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Documento Base do Programa Água Doce. 2010. Disponível em <http://www.mma.gov.br/agua/agua-doce> Acesso 26/06/2016.
- CUSTÓDIO, E., Hidroquímica, Sección 10, Hidrologia Subterránea, Ediciones Omega, 2ª Edición, 1983.
- Diagnóstico do Município de Ipanguaçu/RN, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2005.
- Diagnóstico do Município de Jandaíra/RN, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2005.
- Diagnóstico do Município de Bento Fernandes/RN, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 2005.
- Diagnóstico técnico, social e ambiental de comunidades do semiárido potiguar do Município de Ipanguaçu/RN - VERITAS ENGENHARIA AMBIENTAL, 2013.
- Diagnóstico técnico, social e ambiental de comunidades do semiárido potiguar do Município de Jandaíra/RN - VERITAS ENGENHARIA AMBIENTAL, 2014.
- Diagnóstico técnico, social e ambiental de comunidades do semiárido potiguar do Município de Bento Fernandes/RN - VERITAS ENGENHARIA AMBIENTAL, 2013.
- DNOCS, História. Disponível em <http://www.dnocs.gov.br/comunicacao/registros> Acesso 26/06/2016
- FEITOSA, F.A.C., Testes de Bombeamento em Poços Tubulares, DNPM/ABAS, 1996.
- FILHO, M.J., Evolução Histórica do Conhecimento, Hidrologia: Conceitos e Aplicações, CPRM, 3ª Edição, 2008.
- MENTE, A. A Água Subterránea no Brasil, Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações, CPRM, 3ª Edição, 2008.
- PORTARIA 2914, Ministério da Saúde, 2011.
- RESOLUÇÃO 257, Coordenação Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2005.
- RESOLUÇÃO 386, Coordenação Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 2008.
- SANTOS, A.C., Noções de Hidroquímica, Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações, CPRM, 3ª Edição, 2008.