



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**RENATA NAYARA CÂMARA MIRANDA SILVEIRA**

**AQUÍFERO ALUVIONAR COMO SUPORTE À IRRIGAÇÃO NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CURU, CEARÁ.**

**FORTALEZA  
2014**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca de Ciências e Tecnologia

- 
- S591a Silveira, Renata Nayara Câmara Miranda.  
Aquífero aluvionar como suporte à irrigação na bacia hidrográfica do Rio Curu, Ceará / Renata  
Nayara Câmara Miranda Silveira. – 2014.  
88 f. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias,  
Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,  
Fortaleza, 2014.  
Área de Concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.  
Orientação: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa.
1. Aquíferos - Ceará. 2. Bombeamento – teste. 3. Agricultura irrigada. I. Título.

RENATA NAYARA CÂMARA MIRANDA SILVEIRA

AQUÍFERO ALUVIONAR COMO SUPORTE À IRRIGAÇÃO NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CURU, CEARÁ.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa

FORTALEZA

2014

RENATA NAYARA CÂMARA MIRANDA SILVEIRA

AQUÍFERO ALUIONAR COMO SUPORTE À IRRIGAÇÃO NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CURU, CEARÁ.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de Concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Itabaraci Nazareno Cavalcante  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Almiro Tavares Medeiros  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dra. Danielle Ferreira de Araújo  
Universidade de Fortaleza (Unifor)

A Deus,  
À minha mãe Fátima, aos meus irmãos Renato  
Jr e Nayane e ao meu noivo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por permitir minha evolução intelectual e espiritual nesta vida.

À minha mãe por sempre me apoiar, aos meus irmãos, Renato Jr e Nayane que não cansam de me escutar e de acreditarem em minhas conquistas, ao meu noivo pelo companheirismo e amizade e ao meu pai que, do seu jeito, nos incentivou a estudar.

Ao meu querido orientador Nonato, que apesar dos seus infinitos compromissos me deu sempre muita atenção e pela amizade demonstrada ao escutar minhas queixas, dando-me conselhos. Sem falar da grande oportunidade que me deu em vivenciar a realidade do campo e poder colaborar na melhoria de vida de quem vive em função deste.

A equipe do grupo GPEAS que me ajudou de alguma forma, Humberto Gildo que através dos seus conhecimentos do PICP conseguimos a localização das áreas de estudos, à Bruna, ao Thiago, Yan, Paulo Gleison, Alfredo, Danielle, Maryjane e Almiro.

À minha amiga Dayana, pelo apoio na elaboração dos mapas, pela amizade e por ter me apresentado seu marido Idembergue, cuja sua colaboração foi de grande valia na construção desta dissertação.

Ao apoio dos funcionários da FEVC, Gleiciane, Geovane, Aninha, Iron, Zé Hamilton, Zé Airton, Mário, Damasceno, Jandeco, entre outros.

Ao PPGEA e em especial aos meus amigos que entraram comigo no semestre 2012.2, Anthony Rafael, Socorro Peixoto(Sucuritchas) e Eder Ramon, além dos amigos especiais Christine, Eveline, Naldinha, Sassá, Ramon, Yuri, Cicéro, Carol, Marília, Carlinha, Leandro, e a todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa conquista. Também ao colega, secretário da pós, Jacó.

Aos professores do PPGEA, em especial aos professores George Mamede e Renato Ribeiro que colaboraram em grande parte na minha formação intelectual.

Aos professores do Departamento de Geologia/UFC, Itabaraci Cavalcante e Sônia Vasconcelos, que foram muito gentis em me familiarizar com a hidrogeologia.

Aos amigos, Andréa e Felipe pela companhia e amizade.

À minha cunhada Lidyanne que sempre está na torcida, Dna Marta e Júnior.

À minha amiga especial, Ariadne Gonçalves pelo apoio em todos os momentos e pela amizade verdadeira.

Aos meus familiares, primas, tias e tios que sempre me apoiam.

Enfim, a todos que de alguma forma emanaram energias positivas para mim.

“Porque eu sou do tamanho do que vejo  
e não, do tamanho da minha altura...”

*(Fernando Pessoa)*

## RESUMO

A pesquisa teve como objetivo estudar a capacidade de suporte de poços rasos tubulares como fonte de água para irrigação para as condições atuais de escassez hídrica no Perímetro Irrigado Curu – Pentecoste, inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Curu. Após o cadastro dos poços realizaram-se testes de bombeamento em 14 poços, além de análises físico-químicas da água, levantamento de níveis estáticos e elaboração de uma rede de fluxo do lençol freático. Realizou-se 14 testes do aquífero para obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos do solo saturado (condutividade hidráulica, transmissividade e porosidade efetiva). Adotou-se o método de “auger hole” para obtenção da condutividade hidráulica do solo saturado. Utilizou-se ainda o método escalonado com três etapas para o teste de produção em 11 poços. Através do georreferenciamento dos poços cadastrados e do levantamento dos níveis estáticos, plotou-se o mapa da rede de fluxo utilizando o programa Surfer 8.0, que permitiu traçar as linhas equipotenciais e as linhas de fluxo. Os resultados permitiram as seguintes conclusões: A elevada variabilidade nos valores de vazão dos poços rasos, traduzida pelo elevado coeficiente de variação é inerente às características de variabilidade das camadas constituintes dos solos aluviais. A vazão média relativa aos poços avaliados proporciona suporte para irrigação de todos os “lotes agrícolas” avaliados com uma jornada diária de trabalho de 12 horas; Apesar das elevadas correlações entre vazão e os atributos hidrodinâmicos do solo condutividade hidráulica e transmissividade, a estimativa de vazão através destas variáveis, embora salutar em razão da redução de custos e tempo para a realização dos testes de bombeamento, não é recomendável para as condições da presente pesquisa, tendo em vista a possibilidade de elevados valores de erros relativos para algumas faixas de condutividade hidráulica e de transmissividade; A redução temporal das vazões de distribuição de água para os canais principais e, portanto, das vazões de retorno para o Rio Curu através dos drenos e da descarga subterrânea são os principais responsáveis pela conformação das curvas equipotenciais geradas a partir dos níveis freáticos. A qualidade da água oriunda dos poços rasos não apresenta limitações de ordem física e/ou química para fins de irrigação dos principais cultivos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, sobretudo considerando o sistema de aplicação da água de irrigação a ser praticado, microaspersão, e as eficiências previstas, com pouca significação como fonte de recarga do aquífero.

**Palavras chaves:** Água subterrânea. Teste de bombeamento. Agricultura irrigada.

## ABSTRACT

This research aimed to study the support capacity of shallow tubular wells as a source of water to irrigation in the current conditions of water scarcity in the Curu Irrigated Perimeter - Pentecost, located on the Curu river watershed. After registering the wells, it was done pumping tests in 14 wells, and physicochemical analysis of water, static levels and the elaboration of a groundwater flow network. It was done 14 aquifer tests to obtain the hydrodynamic parameters of saturated soil (hydraulic conductivity, transmissivity and effective porosity). We adopted the method of "auger hole" to obtain the hydraulic conductivity of saturated soil. It was also used the scaled three-step method for the production of 11 wells. Through georeferencing tools to register the water wells and the survey of the water table, we plotted up the data in the flow network map using the Surfer 8.0 software, which allows us to trace the equipotential lines and flow lines. The results led us to the following conclusions: The high variability in flow rates in shallow wells, represented by the high variation coefficient is inherent to the variability characteristics of the alluvial soils layers. The average flow in the studied wells provides support for irrigation of all "agricultural plots" assessed on a daily journey of 12 hours work; Despite the high correlations between flow and hydrodynamic properties of the soil, hydraulic conductivity and transmissivity, the flow estimation through these variables, although salutary because of the savings cost and time to perform the pumping tests, it is not recommended for current conditions of this research, considering the possibility of high relative errors values for some hydraulic conductivity ranges and transmissivity; The time reduction in water distribution flow to the main channels and thus the return flow to Curu river through drains and groundwater discharge are primarily responsible for shaping the equipotential curves generated from the water table. The water quality coming from the shallow wells has no physical and/or chemical limitations for irrigation to the major farming in the Curu Irrigated Perimeter - Pentecost, especially considering the irrigation water system to be practiced, microprinkler, and efficiencies provided, with little significance as aquifer recharge source.

**Keywords:** Groundwater. Pumping test. Irrigated agriculture.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama para classificação das águas de irrigação. ....	23
Figura 2 - Mapa de localização do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste - Ceará. ....	27
Figura 3 - Médias pluviométricas mensais do período de 1970 a 2014 do PICP - CE. ....	29
Figura 4 - Obtenção de coordenadas UTM dos poços com GPS geodésico no PICP - CE. ....	32
Figura 5 - Mapa de localização dos poços aluviais do PICP. ....	33
Figura 6 – Medição do nível da água no poço F5 do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste - CE. ....	34
Figura 7 - Realização do teste de produção no poço raso F1, PICP -CE. ....	35
Figura 8 - Rede contra entrada de impurezas na mangueira de sucção. ....	35
Figura 9 - Parâmetros hidráulicos de um poço em bombeamento (aquífero livre). ....	38
Figura 10 – Poço de observação do nível d'água. ....	39
Figura 11 - Teste de Condutividade Hidráulica em um poço aluvionar no PICP. ....	41
Figura 12 – Dados de campo necessários à estimativa de $K_o$ pelo método do poço. ....	41
Figura 13 - Curva $S_w/Q = f(Q)$ do poço C1. ....	49
Figura 14 Curva de evolução simulada do rebaixamento $S_w$ ....	49
Figura 15 - Curva $S_w/Q = f(Q)$ do poço D2. ....	50
Figura 16 - Evolução simulada do rebaixamento $S_w$ ....	50
Figura 17 - Perfil litológico do poço C1 - núcleo C do PICP. ....	51
Figura 18 - Perfil litológico do poço D2 - núcleo D do PICP. ....	51
Figura 19 – Ajuste estatístico da vazão em função da condutividade hidráulica. ....	52
Figura 20 - Ajuste estatístico da vazão em função da transmissividade. ....	52
Figura 21 - Isohypsas ou isolinhas das cotas do nível da água. ....	61
Figura 22 Isóbatas ou isolinhas de profundidade do lençol freático, PICP. ....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cadastro dos poços aluvionares do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	31
Tabela 2 - Precisão do posicionamento relativo em função do tempo de observação, equipamento utilizado e comprimento da linha de base.....	32
Tabela 3 - Parâmetros hidrodinâmicos de 14 poços avaliados no PICP-CE.....	45
Tabela 4 – Faixas de valores de Condutividade Hidráulica com relação ao tipo de material.	46
Tabela 5 – Classificação da transmissividade com a vazão dos poços. ....	46
Tabela 6 – Média da porosidade efetiva de diversos tipos de rochas.....	47
Tabela 7 – Dados obtidos em testes de produção em poços rasos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.....	48
Tabela 8 - Dados do poço C1. ....	49
Tabela 9 - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço C1. ....	49
Tabela 10 - Dados da construção da curva $Q = f(S_w)$ e nível dinâmico. ....	49
Tabela 11 - Dados do poço D2.....	50
Tabela 12 - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço D2.....	50
Tabela 13 - Dados da construção do curva $Q = f(S_w)$ e nível dinâmico - Poço D2.....	50
Tabela 14 - Valores de erros relativos da estimativa da vazão como função da condutividade hidráulica. ....	53
Tabela 15 - Valores de erros relativos da estimativa da vazão como função da transmissividade. ....	53
Tabela 16 - Resultados das análises de água para irrigação do aquífero aluvionar do Rio Curu, PICP- CE.....	53
Tabela 17 - Evapotranspiração de referência, em mm dia-1, obtida pelo método de Penman Monteith / FAO (1991), relativo ao período de 1970 a 1998.....	56
Tabela 18 – Coeficientes de cultivo das culturas da bananeira e do coqueiro. ....	56
Tabela 19 - Necessidade diária de água (mm) ou lâminas líquidas para as culturas do coqueiro e da bananeira em Pentecoste, Ceará.....	57
Tabela 20 - Lâminas brutas diárias de irrigação (mm) para as culturas do coqueiro e da bananeira em Pentecoste, Ceará. ....	57
Tabela 21 – Capacidade máxima de área a ser irrigada por poço tubular para uma jornada diária de irrigação de 12 horas .....	58

Tabela 22 – Coordenadas UTM e potencial total de água no solo dos poços rasos.....	59
--	----

## LISTA DE SIGLAS

CE - Ceará

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra a Seca

FEVC - Fazenda Experimental Vale do Curu

PPGEA - Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola

PICP - Perímetro Irrigado Curu Pentecoste

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	16
2.1 Recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Curu.....	16
2.1.1 Águas superficiais .....	16
2.1.2 Águas subterrâneas.....	17
2.2 Hidráulica de poços rasos .....	19
2.2.1 Teste de bombeamento em poços.....	19
2.2.2 Teste do aquífero.....	20
2.2.3 Teste de produção.....	20
2.3 Rede de fluxo do lençol freático.....	21
2.4 Variáveis que medem a qualidade da água para irrigação.....	22
2.5 Requerimento e dotação de água dos cultivos irrigados.....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 Caracterizações da área em estudo .....	27
3.1.1 Geologia e Geomorfologia .....	28
3.1.2 Solos.....	28
3.1.3 Clima .....	28
3.1.4 Vegetação .....	30
3.2 Cadastro dos poços .....	30
3.3 Rede de fluxo hídrico subterrâneo.....	31
3.3.1 Levantamento Planialtimétrico .....	32
3.3.2 Nível estático.....	33
3.4 Caracterização hidráulica dos poços rasos .....	34
3.4.1 Teste de Produção .....	34
3.4.1.1 Cálculo de perdas.....	36
3.4.1.1.1 Perdas no regime laminar (Perdas lineares) .....	36
3.4.1.1.2 Perdas no regime turbulento (Perdas não lineares) .....	37
3.4.2 Capacidade específica .....	38

3.4.3 Raio de influência.....	38
3.4.4 Coeficiente de transmissividade e condutividade hidráulica do solo saturado .....	40
3.4.5 Coeficiente de armazenamento .....	42
3.5 Cálculo das reservas hídricas subterrâneas permanentes .....	43
3.6 Avaliação da qualidade da água para fins de irrigação .....	44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
4.1 Teste do aquífero .....	45
4.1.1 Condutividade Hidráulica ( $K_o$ ).....	45
4.1.2 Transmissividade (T).....	46
4.1.3 Porosidade efetiva ( $\eta_e$ ).....	46
4.1.4 Raio de Influência (R).....	47
4.2 Teste de Produção.....	47
4.3 Avaliação da qualidade de água .....	53
4.4 Capacidade de área a ser irrigada por poço tubular.....	55
4.5 Reservas permanentes do aquífero .....	58
4.6 Superfície potenciométrica.....	59
5 CONCLUSÕES .....	63
REFERÊNCIAS .....	64
APÊNDICES .....	68

## 1 INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Curu está localizada no Nordeste brasileiro, no centro-norte do Estado do Ceará, região inclusa no “*Polígono das Secas*” onde a escassez de água ocorre em grande parte do território. Trata-se de uma região de clima semiárido, caracterizado por apresentar chuvas irregulares com longos períodos de estiagem. Nos últimos três anos (2012-2014) esse quadro foi mais prolongado que a média histórica, agravando os problemas de abastecimento de água para a população e para o uso agrícola.

Para responder as necessidades hídricas do Nordeste, as políticas públicas foram concentradas principalmente na construção de açudes e barragens cuja eficácia permanece insuficiente, principalmente, em períodos longos de estiagem. Apesar dessas advertências pode-se ressaltar a importância dos recursos hídricos subterrâneos que já são explorados para fins agrícolas e uso humano por grande parte da região, através de poços rasos, poços confinados, cacimbões entre outros. Porém, na Bacia do Rio Curu existem muitos poços em desuso, necessitando de mais incentivos e estudo da capacidade hidráulica dos mesmos.

A Bacia Hidrográfica do Rio Curu caracteriza-se pelo alto nível de açudagem, destacando-se os açudes General Sampaio e Pereira de Miranda, responsáveis por quase 70% do volume de acumulação da bacia (CEARÁ, 2009). O setor de irrigação é o maior usuário dos recursos hídricos desta bacia, demandando  $143,418 \text{ hm}^3 \text{ ano}^{-1}$ , enquanto todos os outros tipos de uso somados geram uma demanda de  $17,811 \text{ hm}^3/\text{ano}$ . O consumo de água na agricultura se concentra em grandes perímetros públicos, destacando-se o Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, que possui 1.068 ha irrigáveis pelo método de superfície. A irrigação nesse perímetro é caracterizada pelo baixo nível tecnológico, resultando em baixa eficiência na utilização dos recursos hídricos (COSTA, 2011).

Todos os açudes da Bacia do Curu estão, atualmente, com o nível abaixo de 10% da sua capacidade de armazenamento, sendo que o açude Pereira de Miranda, principal reservatório, está com menos de 3%. A evaporação, que tem uma média de  $6,0 \text{ mm dia}^{-1}$ , somada com o baixo índice pluviométrico nesses últimos três anos (2012-2014), são os responsáveis pelo acelerado processo de rebaixamento dos níveis d’água dos açudes cearenses. Além disso, o consumo de água pela população tem aumentado. Assim, a vazão de água liberada para irrigação, que não é prioritária em situação de escassez de acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos, foi suspensa na Bacia Hidrográfica do Rio Curu até que a situação se normalize.

Instituições como a Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Ceará - Cogerh, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Curu e o próprio Distrito de Irrigação Curu-Pentecoste, entidade jurídica responsável pela administração, operação e manutenção da infraestrutura de uso comum do perímetro irrigado, com recursos financeiros oriundos da arrecadação da tarifa mensal de água dos agricultores irrigantes, têm contribuído na perspectiva da sustentabilidade hídrica do perímetro; porém, tem-se verificado a necessidade da implementação de ações específicas em nível de parcela irrigada, com destaque para a conversão do método de irrigação por superfície em sistemas localizados, o que torna exequível em um primeiro momento em áreas que dispõem de poços tubulares rasos nos aluviões.

Diante do exposto, poços rasos (profundidade até 20m) pode ser uma fonte alternativa de grande importância para irrigação, já que no entorno do Perímetro Irrigado há predominância de aquíferos sedimentares caracterizados por possuírem elevadas porosidade e condutividade hidráulica, ou seja, com excelentes condições de armazenamento e transmissão de água carecendo, no entanto, de informações com vistas ao seu suporte, seja do ponto de vista qualitativo quanto quantitativo, sobretudo em condições de escassez hídrica, tal como se configura o quadro atual no Nordeste Brasileiro.

Os ensaios de bombeamento para fins de teste de produção do aquífero são os principais procedimentos para se avaliar e estudar a disponibilidade hídrica de um aquífero. Através desses ensaios é possível não só estimar as características hidráulicas do meio como também avaliar o potencial de exploração das obras de captação (poços) (MÖBUS, 2007).

A pesquisa teve como objetivo geral estudar a capacidade de suporte dos poços tubulares rasos como fonte de água para irrigação para as condições atuais de escassez hídrica no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. Especificamente, teve os seguintes objetivos: caracterizar a hidráulica dos poços através das variáveis nível estático, vazão atual, capacidade específica, raio de influência, transmissividade e coeficiente de armazenamento; avaliar a qualidade da água dos poços com vistas ao seu uso para irrigação; fornecer informações sobre o comportamento da água subterrânea em base a uma rede de fluxo hídrico subterrâneo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Curu

Os recursos hídricos existentes na Bacia Hidrográfica do Rio Curu compõem-se de águas superficiais (açudes, lagoas e rios perenizados) e de águas subterrâneas (cacimbas, poços rasos e poços profundos).

#### 2.1.1 Águas superficiais

A Bacia Hidrográfica do Rio Curu se apresenta do ponto de vista hidroagrícola como uma das bacias mais importantes do Ceará, sendo formada por 25 municípios e possuindo uma área drenada de 8.528 km<sup>2</sup>, a qual compreende cerca de 5,73% do território cearense. Possui um elevado número de açudes, com destaque para os açudes públicos General Sampaio (322,2 hm<sup>3</sup>), Pentecoste (395,6 hm<sup>3</sup>) e Caxitoré (202,0 hm<sup>3</sup>). Estes três açudes têm capacidade para acumular 86% do volume máximo previsto para os treze reservatórios monitorados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos - COGERH nesta bacia, que é de 1.068,3 hm<sup>3</sup> (CEARÁ, 2013a). Porém, as águas superficiais no Nordeste brasileiro sofrem uma grande perda por evaporação, que somada com o déficit pluviométrico, acabam por não conseguirem atender a demanda hídrica da população.

Atualmente, setembro de 2014, todos os açudes da região estão com um nível inferior a 10% em relação à sua capacidade de armazenamento. O açude General Sampaio e o açude Pereira de Miranda que são responsáveis pelo abastecimento do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste estão com apenas 3,83% (12,34 hm<sup>3</sup>) e 2,3% (8,27 hm<sup>3</sup>) de volume armazenado, situação esta crítica tanto para população da região quanto para os agricultores irrigantes (CEARÁ, 2014). A liberação de água para irrigação nesta Bacia Hidrográfica foi cancelada antes do final de 2013.

Devido a esta situação, vêm ocorrendo sistemáticas reuniões do Comitê da Bacia Hidrográfica do Curu com a Direção da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (Cogerh), com o propósito de estabelecer ações que visem minorar a problemática da escassez de água, entre elas a transposição de águas via adutora para o abastecimento humano (MENEZES, 2014).

Informações sobre a qualidade das águas nas bacias hidrográficas do Brasil são esparsas ou inexistentes devido à falta de uma rede de monitoramento adequada em termos de

frequência, parâmetros e número de pontos de amostragem para todo o território nacional (BRASIL, 2005).

### ***2.1.2 Águas subterrâneas***

Os recursos hídricos subterrâneos representam fontes estratégicas de suprimento hídrico no período de estiagem. O conhecimento das reservas hídricas subterrâneas traz forte benefício para fixação e sobrevivência do homem no campo, favorecendo atividades econômicas e de subsistência, disponibilizando dados para gestão dos recursos hídricos e levando o uso racional da água (MOURA, 2013).

A exploração das águas subterrâneas está condicionada à estrutura geológica da região, tendo assim, dois tipos de aquíferos: aquíferos das rochas do embasamento cristalino fraturado onde a exploração das águas subterrâneas é realizada pela construção de poços tubulares profundos e os aquíferos nos depósitos aluviais dos rios, ou aquíferos livres (BURTE & SCHRADER, 1999).

De acordo com a Secretaria dos Recursos Hídricos, a oferta hídrica subterrânea nos principais aquíferos da Bacia Hidrográfica do Rio Curu (Dunas, Barreiras; Fraturado e Aluviões) é da ordem de  $576,0 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  em mais de 500 poços cadastrados (CEARÁ, 2013a).

As águas subterrâneas no país, de forma geral, são de boa qualidade com propriedades físico-químicas e bacteriológicas adequadas a diversos usos. Porém, algumas restrições são encontradas como, por exemplo: elevados valores de sólidos totais dissolvidos, especialmente nas partes confinadas das bacias sedimentares. Esse elevado valor de sólidos totais dissolvidos também é observado nos terrenos cristalinos do semiárido nordestino. Devido às condições de circulação lenta, a água subterrânea se enriquece em sais minerais em profundidade. O uso de aluviões e barragens subterrâneas, quando tecnicamente bem planejadas, são alternativas importantes para o abastecimento de água com boa qualidade (BRASIL, 2007).

Os poços freáticos, também conhecidos como poços tubulares rasos, são poços que captam água do lençol freático, ou seja, água que se encontra acima da primeira camada impermeável do solo. Estes podem fornecer água de boa qualidade comparando à qualidade da água dos poços profundos, desde que não tenham contribuições de meios poluentes. Em 2001, através do projeto do Governo do Estado do Ceará denominado “Caminhos de Israel – Poços no Sertão” foram instalados vários poços tubulares rasos em aluviões por todo o

Estado. O objetivo do programa era a instalação de 5.000 poços tubulares rasos no Estado do Ceará, sendo 50 poços por Município em dois aluviões. Nas dependências do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste foram instalados 25 poços, sendo que atualmente, cerca de 88% destes estão em desuso, ou por falta de energia elétrica ou até mesmo por falta de incentivo para os agricultores da região. Atualmente, irrigantes beneficiados com estes poços aluviais estão contratando empresas para construir poços profundos com a esperança de obter água para irrigação de seus lotes, desprezando, ou até mesmo desacreditando na capacidade de suporte do poço raso existente na sua área.

Desde janeiro de 2014 a água para irrigação, liberada nos canais do PICP foi suspensa devido ao baixo nível dos açudes da Bacia Hidrográfica do Rio Curu. Assim, agricultores para não perderem seus plantios procuram soluções imediatas.

Até o mês de abril de 2014, o Rio Curu, nos trechos dos núcleos C, D e F, locais de estudo, ainda estavam sendo perenizados pelas águas dos drenos, assim agricultores que possuíam bombas hidráulicas instaladas em suas propriedades estavam aduzindo esta água diretamente do rio e irrigando seus cultivos, principalmente coqueiro e bananeira através de sistema de irrigação por sulcos, cuja eficiência de irrigação varia entre 30 e 40% (SANTOS, 2011).

Atualmente, em decorrência da suspensão da irrigação, o quadro no Vale do Rio Curu é desolador quanto às perdas dos cultivos irrigados, sobretudo coqueiro. Por outro lado, tem-se observado um rebaixamento acentuado do lençol freático pelo uso indiscriminado da irrigação com água oriunda de poços rasos e, sobretudo, de escavações no leito do Rio Curu.

De acordo com a lei estadual nº 14.844 Art. 12, para executar uma obra ou serviço de interferência hídrica, deve-se solicitar a outorga à Secretária dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, a qual informa que: “Será outorgada a execução de obras ou serviços que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade dos recursos hídricos, nos termos e condições expressas no ato respectivo, sem prejuízo das demais formas de licenciamento ambiental a cargo de instituição competente”.

A exigência da outorga busca garantir a qualidade e o controle da utilização das águas.

O deferimento depende de várias avaliações da Bacia Hidrográfica, como o levantamento da disponibilidade hídrica e as demandas por água. No caso das obras hídricas, será avaliado também o impacto que esta possa causar ao meio ambiente, assim como a população à jusante da Bacia Hidrográfica.

## **2.2 Hidráulica de poços rasos**

Para que um poço tenha um bom desempenho hidráulico, que permita a retirada de água do aquífero em condições economicamente vantajosas, será necessário aplicar corretamente os princípios da hidráulica nas análises do comportamento do poço e do aquífero, assim como dependerá do sucesso da perfuração e da construção do mesmo, sendo outro fator, a escolha dos materiais empregados, isto é, filtros, materiais de revestimento, tubo e equipamentos de bombeamento que assegurem uma longa vida operacional (MÖBUS, 2007).

A remoção da água de poços rasos é obtida mediante bombeamento. Ao iniciar o bombeamento, a água retirada é proveniente do armazenamento no aquífero em volta do poço. À medida que o bombeamento prossegue, uma quantidade maior de água proveniente de regiões cada vez mais afastadas é removida, aumentando o raio de influência do poço (BARBOSA JÚNIOR, 2013).

À medida que ocorre um bombeamento, o raio de influência e a depressão de nível ocorrem a uma razão decrescente, isto é, após algumas horas de operação é difícil notar, em intervalos pequenos de tempo, os acréscimos no cone de depressão. A expansão do cone continua até que a capacidade de recarga do aquífero se equilibre com a vazão de bombeamento, ação definida como regime permanente. Em alguns aquíferos ocorre o equilíbrio em algumas horas de bombeamento ao passo que em outros, isso não é alcançado mesmo que o bombeamento durasse por um tempo indeterminado (JOHNSON, 1966).

Assim, é de grande importância o conceito de vazão ou descarga segura, cujo valor é o limite máximo da taxa de bombeamento que possa garantir uma recarga do aquífero. Caso esse limite seja ultrapassado causará uma flutuação excessiva do lençol freático ou o seu rebaixamento excessivo, conseqüentemente, um aumento no custo de operação e bombeamento.

### ***2.2.1 Teste de bombeamento em poços***

Um poço pode ser testado com dois propósitos principais: Um para obtenção dos parâmetros hidrodinâmicos para que fatores do desempenho do aquífero possam ser calculados (teste do aquífero) e o outro para obtenção de informações sobre o desempenho e eficiência do poço em teste (teste de produção).

### **2.2.2 Teste do aquífero**

Pode-se definir teste de aquífero como sendo um bombeamento que tem por finalidade a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do meio poroso sendo eles: transmissividade (T), coeficiente de armazenamento (S) e condutividade hidráulica (K). A sua execução consiste em bombear um poço com uma vazão constante (Q) e no acompanhamento da evolução dos rebaixamentos produzidos no próprio poço e, se possível, em um ou mais poços de observação ou piezômetros situados a uma distância “r” qualquer do poço bombeado (FEITOSA E MANOEL FILHO, 2000).

Os parâmetros hidrodinâmicos de um aquífero são avaliados a partir da análise de dados de testes de aquífero, executados em campo, com a obtenção de informações sobre o rebaixamento do nível potenciométrico durante a operação de bombeamento. No caso da ausência de poços de observação, os rebaixamentos do nível da água são obtidos no próprio poço de bombeamento, e se procede à interpretação dos resultados com a obtenção de valores aproximados (FEITOSA E MANOEL FILHO, 2000).

Segundo Maia (2010), os valores dos parâmetros hidrodinâmicos podem estar associados à espessura da camada de argila e areia em que o poço está inserido. Assim, poços com maiores valores de transmissividade e condutividade hidráulica possivelmente estão inseridos numa porção mais arenosa do aquífero.

### **2.2.3 Teste de produção**

Teste de produção pode ser definido como um bombeamento que tem por finalidade a determinação das perdas de carga totais que ocorrem no poço. A sua execução consiste na realização de um bombeamento e no registro da elevação dos rebaixamentos no próprio poço bombeado. Devem ser realizados em três ou mais etapas para que se possa estabelecer a reta característica onde, a partir dela, podem ser calculados os coeficientes necessários para estimar a vazão de produção em relação ao tempo de bombeamento.

A cada etapa, a vazão (Q) deve aumentar, de modo que  $Q_1 < Q_2 < Q_3 < Q_n$ , sendo que em cada etapa a vazão deve ser mantida constante.

Os testes de produção podem ser realizados através de duas metodologias: Do tipo sucessivo ou do tipo escalonado. Nos testes de produção sucessivos, ao término de cada etapa,

o equipamento de bombeamento é desligado e mede-se a recuperação do nível d'água. Diferente dos testes sucessivos, os testes de produção escalonados são realizados através de um bombeamento contínuo, passando-se de uma etapa para outra através de um aumento brusco na vazão, permitindo um menor tempo para realização do teste, e por esta razão é o mais utilizado (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

Pesquisas realizadas em 86 municípios do Estado do Ceará permitiram constatar que o potencial de exploração dos poços nos aluviões é muito mais alto que no cristalino por causa da condutividade elétrica da água ser mais baixa, além da vazão explorável ser maior (BURTE, 2008).

Burte (2008) realizou testes de produção do tipo escalonados em três etapas e interpretou os resultados segundo o método de Jacob-Theis para aquíferos livres e semi confinados, que permitiu estimar a vazão máxima dos poços. Já Maia (2010) utilizou em seus estudos teste de produção do tipo sucessivo com recuperação do nível inicial.

Uma campanha de medições e de coletas de informações no Vale do Forquilha permitiu estimar a área total irrigada e o consumo de água real para irrigação, constatando que 95% do volume de água bombeada no aquífero era destinado à irrigação (BURTE, 2008).

A quantidade de água aplicada na irrigação depende do tipo de cultura praticado, do déficit pluviométrico (evapotranspiração menos precipitação), da eficiência do sistema de irrigação e da disponibilidade de água no solo para as culturas. Burte (2008), através de testes com poços no Vale do Forquilha, concluiu que o aquífero aluvial é um recurso hídrico suficiente para manter áreas irrigadas e garantir o abastecimento humano e animal, mesmo durante secas plurianuais.

### **2.3 Rede de fluxo do lençol freático**

As curvas de isopotenciométricas do lençol freático ou rede de fluxo permitem a identificação da direção do fluxo de água subterrâneo, do gradiente hidráulico, das áreas de recarga e descarga, além da resistência radial (CRUCIANI,1989). Assim, para uma melhor locação de poços rasos é de suma importância a elaboração de um mapa representando a rede de fluxo.

Estudos do comportamento do lençol freático com a finalidade de investigar as condições de direcionamento do fluxo subterrâneo através da realização do mapa das curvas isopotenciométricas são largamente realizados em áreas com problemas de drenagem. Segundo Cruciani & Godoy (1981), metodologias que caracterizam o lençol freático são as únicas que apresentam eficiência em estudos para áreas com problemas de drenagem.

Sales et al. (2004) elaboraram um mapa da rede de fluxo do lençol freático para análise de um sistema de drenagem subterrânea e constataram que o fluxo subterrâneo ocorria no sentido do escoamento natural das águas superficiais.

Moura (2008) elaborou um mapa potenciométrico constatando que nos períodos de chuva e estiagem, a superfície hidrostática parecia acompanhar o relevo e que o fluxo subterrâneo se dirigia basicamente em direção ao rio próximo do aquífero. O autor verificou, ainda, que ao longo de todo o Perímetro Irrigado de Morada Nova apareciam zonas de convergência (descarga), sugerindo super exploração da água subterrânea, tendo em vista um aumento destas zonas no período de estiagem, onde há uma maior exploração do aquífero.

#### **2.4 Variáveis que medem a qualidade da água para irrigação**

A qualidade da água é definida por sua composição e pelo conhecimento dos efeitos que podem causar os seus constituintes. Assim, os padrões de qualidade da água permitem classificá-la de acordo com o tipo de uso. A classificação da água para fins de irrigação comumente é baseada nos teores individuais dos seus íons ou na salinidade total em função da condutividade elétrica, como também as características físico-químicas dos solos onde será aplicada, além da suscetibilidade ou resistência das plantas que serão irrigadas. Portanto, qualquer sistema de classificação deve levar em conta o efeito da água de irrigação no solo e na planta.

A avaliação da qualidade da água para fins de irrigação deve basear-se nas variações sazonais do seu conteúdo salino, tendo em vista que a composição iônica da água para tal fim está num contínuo estado de mudança. Como pode ser visto, são vários os parâmetros que determinam a qualidade da água de irrigação, todos baseados nos efeitos que podem causar no solo e/ou na planta, onde os conteúdos de sais da água são responsáveis pelo efeito osmótico, sendo que o  $\text{Na}^+$  é o íon responsável pelas mudanças químicas e físicas do solo, a condutividade elétrica (CE) e sólidos totais dissolvidos (STD), os quais fornecem uma medida quantitativa do total de sais dissolvidos na água de irrigação.

Os sais são constituídos basicamente pelos íons sódio ( $\text{Na}^+$ ), o cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ ) e o magnésio ( $\text{Mg}^{++}$ ), cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), carbonato ( $\text{CO}_3^-$ ) e bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), expressos em milimol de carga por litro. Os cátions são utilizados para o cálculo da RAS e os ânions  $\text{CO}_3^-$  e  $\text{HCO}_3^-$ , são usados para ajustamento da RAS pela precipitação do carbonato de cálcio. Concentrações de  $\text{Cl}^-$  são necessárias para identificar problemas potenciais de toxicidade deste íon em plantas (SILVA *et al.*, 2011).

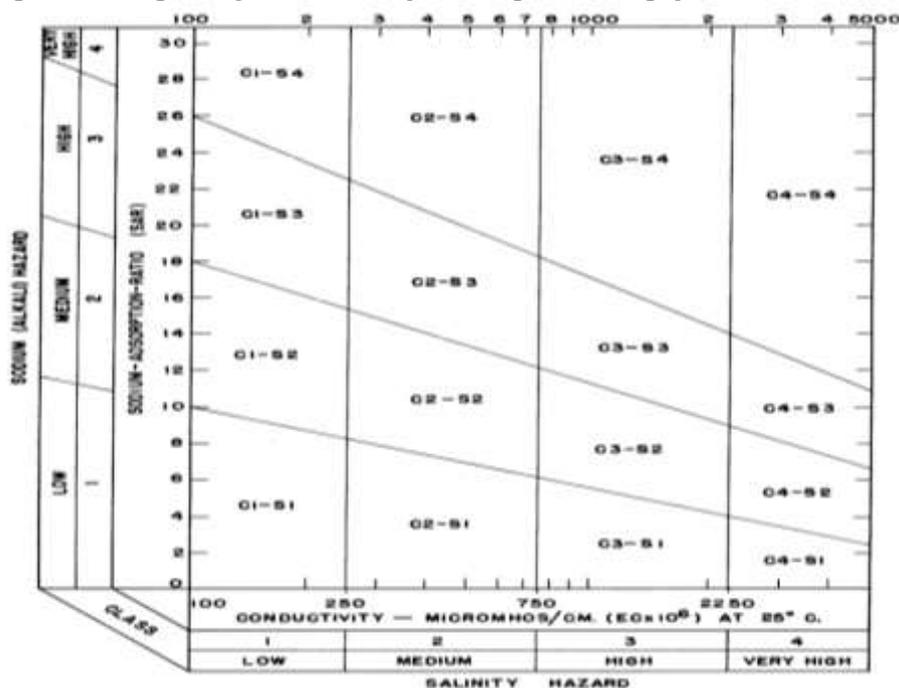
Segundo Silva *et al.*(2011), o pH é um importante fator na avaliação de uma água para irrigação, tal que o pH normal para este fim é entre 6,5 e 8,4. Águas com pH acima de 8,4 podem provocar entupimento nos sistemas de irrigação localizados devido a precipitação de carbonato de cálcio e pH baixos podem corroer os componentes metálicos do sistema.

O diagrama de classificação combinando a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e a concentração total de sais (STD), proposto por Richards (1954), adotado pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, permite formar até dezesseis classes de água para irrigação, variando entre C<sub>1</sub> a C<sub>4</sub> e de S<sub>1</sub> a S<sub>4</sub> em todas as combinações possíveis (FIGURA 1), sendo que uma água C<sub>1</sub> apresenta baixa salinidade, condutividade elétrica (CE) variando de 0 a 250  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (0 a 0,25 dS  $\text{m}^{-1}$ ) e C<sub>4</sub> representa água de muito alta salinidade, condutividade elétrica variando entre 2250 e 5000  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  (2,25 dS  $\text{m}^{-1}$ ). Quanto à classificação de S<sub>1</sub> a S<sub>4</sub> está relacionada ao risco de sodicidade, que assim como o risco da salinidade, pode ser baixo, médio, alto ou muito alto, sendo expresso pelo índice RAS (EQUAÇÃO 01) baseada essencialmente no efeito do sódio nas condições físicas do solo, causando problemas de infiltração pela redução da permeabilidade (SILVA *et al.*, 2011 e CORDEIRO, 2001).

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad (01)$$

Em que, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup> e Mg<sup>++</sup> são expressos em miliequivalente por litro de solução.

Figura 1 - Diagrama para classificação das águas de irrigação.



Fonte: Richards (1954).

Moura (2008) observou no aluvião do Rio Banabuiú, em Morada Nova – CE, que 87% das amostras de água se enquadravam na categoria  $S_1$ , que caracteriza águas com baixa concentração de sódio. Já quanto ao risco de salinidade, as mesmas foram de baixo (C1) a muito alto (C4), sendo que a utilização de águas com alta concentração de sais fica limitada, não podendo ser aplicada em culturas com baixa tolerância ou resistência à salinidade, assim como em solos com baixa drenagem natural

De acordo com a resolução Nº 357, Art.3º do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, as águas doces (salinidade igual ou inferior a 0,5‰), águas salobras (salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰) e salinas (salinidade igual ou superior a 30‰) do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para seus usos principais, em treze classes de qualidade (BRASIL, 2005).

Com relação às diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de águas superficiais, proposta pelo CONAMA, e as diretrizes para interpretar a qualidade da água para a agricultura, medida em condutividade elétrica (CEa), expressa em deciSiemens por metro ( $dS\ m^{-1}$ ) proposta por Richards (1954), as águas doces são aquelas que têm salinidade igual ou menor que  $0,78\ dS\ m^{-1}$ , as águas salobras têm salinidade superior a  $0,78\ dS\ m^{-1}$  e inferior a  $46,88\ dS\ m^{-1}$ , e as águas salinas têm salinidade igual ou superior a  $30\ dS\ m^{-1}$ . A água doce pode ser usada para irrigação de quase todas as culturas. Quando o solo tem boa drenagem, as águas salobras podem ser usadas na irrigação de plantas sensíveis a sais, desde que a concentração salina oscile  $0,78$  a  $2,34\ dS\ m^{-1}$ . A água começa a ter restrições severa de uso para as plantas, quando a salinidade alcança valores a  $3\ dS\ m^{-1}$  de sais dissolvidos totais e somente plantas altamente tolerantes poderão produzir rendimentos satisfatórios (AYERS; MEDEIROS, 1999; CORDEIRO, 2001 *apud* ALBUQUERQUE, 2013).

## **2.5 Requerimento e dotação de água dos cultivos irrigados**

O estudo sobre a relação da planta com a água é imprescindível para um melhor aproveitamento dos recursos hídricos, conseqüentemente, uma melhor produtividade dos cultivos (PIMENTEL, 2004). Temperaturas mais elevadas junto com um baixo índice pluviométrico causam maiores demandas para evapotranspiração das plantas, com tendência de ocasionar aumento na demanda de água para irrigação (GONDIM *et al.*, 2008).

A produção de uma cultura está relacionada, em primeiro lugar, com a genética da planta, a qual pode ser responsável por aproximadamente 60% da expressão da produtividade,

enquanto 40% restantes podem ser atribuídos aos fatores ambientais (clima, solo, água, entre outros). Os requerimentos de água das culturas dependem fundamentalmente dos fatores climáticos e meteorológicos e são geralmente estimados pela evapotranspiração. Através destes é possível o planejamento e dimensionamento dos sistemas de irrigação e do manejo da água nos sistemas de produção agrícola (COUTO e SANS, 2002).

O conceito de evapotranspiração foi introduzido pela primeira vez por Thornthwaite *et al*, em 1944, sendo definida como a quantidade de água necessária durante o ciclo de uma determinada cultura. Para Tucci e Beltrame (2007), a evapotranspiração é considerada como a perda de água por evaporação do solo e transpiração da planta, sendo de suma importância para o balanço hídrico de uma bacia como um todo e, principalmente, para o balanço hídrico agrícola, necessário para o cálculo da necessidade de irrigação.

Para estimar a evapotranspiração da cultura, a FAO, em seu boletim número 24 (DOORENBOS & PRUITT, 1977 apud CORRÊA, 2004), preconizou uma metodologia sugerindo a estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) a partir da evapotranspiração de referência e do coeficiente de cultura (Kc), utilizando-se como padrão o método de Penman(1948), porém, em 1991 foi adotado como método padrão o de Penman-Monteith, desenvolvido por Monteith(1965). Este método possibilita o entendimento dos processos físicos envolvidos na evaporação da água de superfícies vegetadas (SMITH, 1991 *apud* CORRÊA, 2004).

O coeficiente da cultura (Kc) é calculado pela razão entre evapotranspiração máxima de uma cultura e a evapotranspiração de referência. Este varia com as características específicas de cada cultura, estágio de desenvolvimento, época de plantio, densidade de plantio, duração da estação de crescimento, condições de umidade e clima (DOORENBOS & PRUITT, 1977 apud CORRÊA, 2004).

A partir da análise de registros históricos de dados climáticos e o conhecimento do coeficiente da cultura (Kc), juntamente com a capacidade de campo, torna-se possível estimar o balanço de água na zona radicular das culturas e as demandas totais (do ciclo) e diárias da lâmina d'água necessária para aplicação, evitando assim, o desperdício de água e energia durante a irrigação (FARIA, 2002). Assim, evita-se o desperdício de água e energia durante a irrigação.

A agricultura irrigada exerce um papel importante no mundo, porém há necessidade de aumentar a eficiência de uso de água nesta atividade agrícola. Embora a espécie cultivada e o genótipo, juntamente com a energia solar disponível, constituir em vital

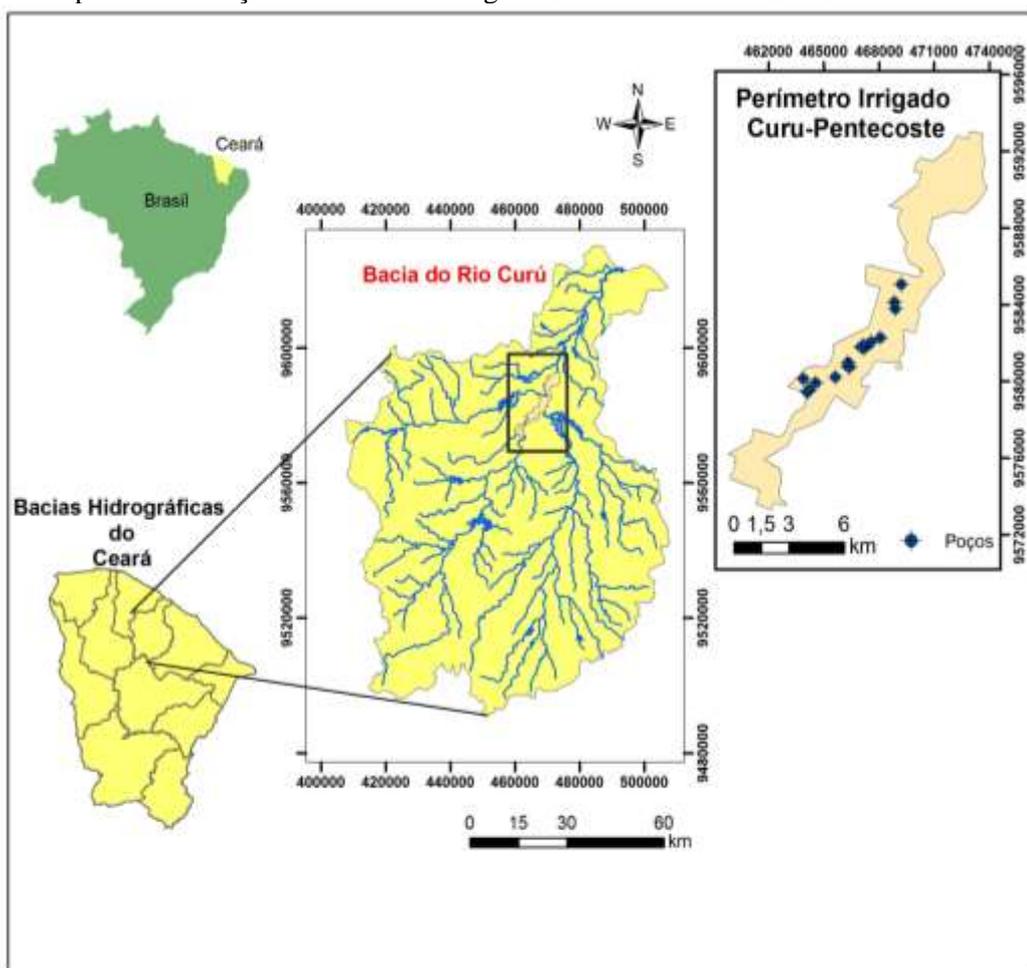
importância para a eficiência de uso de água, a disponibilidade de água é frequentemente o elemento crítico mais importante na agricultura (FRIZZONE, 2010).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterizações da área em estudo

A pesquisa foi realizada no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, componente da Bacia Hidrográfica do Rio Curu. O Perímetro Irrigado Curu Pentecoste situa-se no Estado do Ceará, na microrregião de Uruburetama (Vale do Rio Curu) abrangendo parte dos municípios de Pentecoste e São Luís do Curu, áreas consideradas de influência econômica do perímetro. Predomina o sistema de irrigação por gravidade, com água conduzida em canais e distribuída nas parcelas irrigadas através de sulcos. Está delimitado pelas coordenadas Universal Transversa de Mercator 9573006 a 9593222 Sul e 473955 a 459824 Oeste, fuso 24, altitude 150 m, *Datum SAD 69* (FIGURA 2).

Figura 2 - Mapa de localização do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste - Ceará.



Fonte: A autora.

### ***3.1.1 Geologia e Geomorfologia***

O Perímetro Irrigado Curu Pentecoste encontra-se assentado, quase que na sua totalidade, sobre sedimentos aluvionares pertencentes ao Rio Curu e seus afluentes, provenientes de depósitos fluviais, geralmente em camadas não consolidadas de areia, argila, argila-siltosa e depósitos orgânicos.

Os solos formados apresentam sedimentos de natureza variada, formando camadas estratificadas, sem relação genética entre si e sobreposto sem disposição preferencial de estratos. Em pequenas áreas há afloramentos de rochas, pertencentes ao embasamento pré-cambriano.

O relevo da área do perímetro na sua totalidade é plano, com declividade variando entre 0 e 3%, porém próximo às margens dos riachos, há presença de micro relevo, cujas depressões e elevações apresentam variações de 0,20 a 1,50 m. (Dnocs,1993).

### ***3.1.2 Solos***

De acordo com o Dnocs (1993), há predominância de solos aluviais na área do PICP, respondendo por 98,8% da área, ou seja, 1.463,04 ha, seguido por uma faixa pequena de solos podzólicos (17,79ha). De um modo geral os solos aluviais apresentam uma boa fertilidade natural, porém estudos feitos pelo Instituto Interamericano para Cooperação Agrícola - IICA (1990), mais de 20% da área tinha problemas com salinidade. Em estudo recente conduzido por Melo (2014), constatou-se que mais da metade da área do Perímetro Irrigado apresenta problemas de sodicidade na camada superficial (0 a 0,30m).

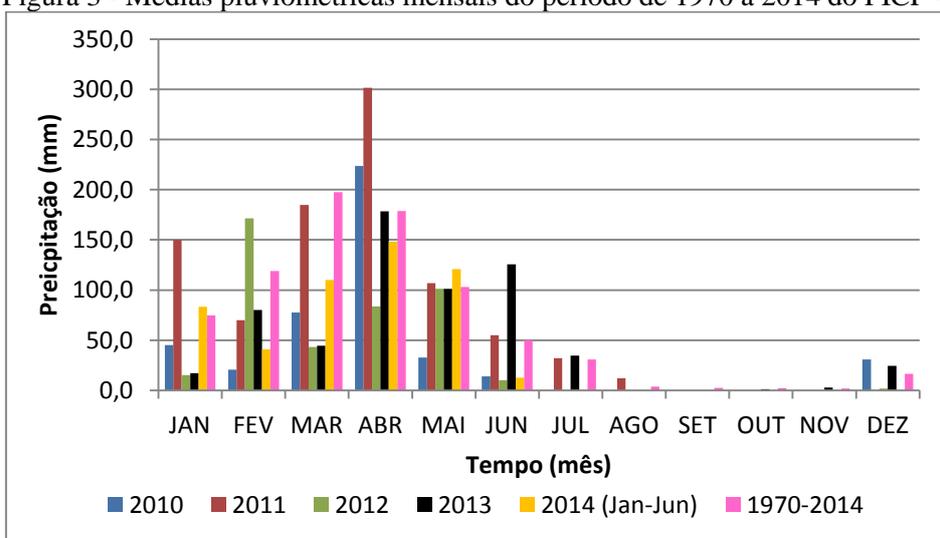
### ***3.1.3 Clima***

Segundo a classificação de Koppen, o clima da região é do tipo Aw, ou seja, clima quente e úmido com chuvas de verão/outono. De acordo com Gaussen, o clima é do tipo 4 bth, termoxeroquimênico médio, com estação seca de seis a sete meses (Dnocs,1993).

De acordo com dados históricos pluviométricos (1970-2013) da Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental Vale do Curu, localizada em área contígua ao Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, a precipitação média anual é de 797,4 mm, característica do semiárido Nordeste, podendo constatar desvios acentuados em torno desta média, em decorrência da distribuição irregular das chuvas. Nestes três últimos anos a precipitação ficou

bem abaixo da média, sendo elas: 427,1 mm em 2012; 610,4 mm em 2013 e 516,2mm neste primeiro semestre de 2014, ou seja, 46, 23 e 29% abaixo da média histórica, respectivamente. O trimestre mais chuvoso é o de fevereiro a abril, que responde por 62% do total anual, sendo que o primeiro semestre apresenta historicamente 91% do total anual de chuvas. No segundo semestre, no entanto, conforme relatado anteriormente só ocorre chuvas extemporâneas, conforme se visualizam nos dados ilustrados na Figura 3.

Figura 3 - Médias pluviométricas mensais do período de 1970 a 2014 do PICP - CE.



Fonte: Estação Agrometeorológica da FEVC/UFC, CE.

A umidade relativa média anual (1970-2013) é da ordem de 73%, característico do semiárido nordestino. No trimestre mais úmido (fevereiro/abril), os valores de umidade relativa ultrapassam 80%, enquanto que no período de estiagem as taxas decrescem, atingindo valores mínimos em torno de 64%, de agosto a novembro.

O regime térmico da região é caracterizado, basicamente, por temperaturas elevadas e amplitudes reduzidas. A temperatura média anual (1970-2013) é de 27,1°C, com variações que não ultrapassam aos 2°C. Os meses de março a julho são os que apresentam temperaturas menores, da ordem de 26°C, enquanto que as maiores ocorrem no período de setembro a janeiro, chegando a mais de 28°C.

A insolação média anual (1970-2003) é de 2.687,4 horas, o que equivale a uma incidência média diária de 7,5 h dia<sup>-1</sup>. Já a velocidade dos ventos varia entre 3,1 m s<sup>-1</sup> (em maio) e 6,6 m s<sup>-1</sup> (em outubro), tendo uma média diária de 4,9 m s<sup>-1</sup>. A evaporação média anual medida em tanque classe A é da ordem de 1828 mm.

### **3.1.4 Vegetação**

A maior parcela dos solos do PICP é estabelecida com cultivos irrigados, quase que exclusivamente com os cultivos de coqueiro e bananeira. Assim, a vegetação nativa é quase que inexistente nesses locais, o que resulta na alteração da paisagem natural. A formação vegetal de caatinga arbustiva/arbórea é a que ocupa a maior parte das áreas mortas do perímetro, ocorrendo tanto em forma agrupada como isoladamente, em associações com o estrato herbáceo, vegetação esta associada ao regime hidrológico da região, caracterizado por longos períodos de estiagem e por estas áreas não terem acesso aos recursos hídricos superficiais durante a estação seca. (Dnocs, 1993).

São presentes nessa região as seguintes espécies nativas: Jurema branca (*Phitaecolobium dumosum*), jucá (*Ziziphus joazeiro*), turco (*Parkinsonia aculaeta*), marmeleiro (*Croton hemiargynens*), Chumbinho (*Cardiospermum grandiflorum*), mofumbo (*Cobretum leprosum*), Ciúme (*Calotropis gigantea*), entre outras (Dnocs, 1993). É possível observar grandes áreas com a viúva-alegre (*Cryptostegia grandiflora*), sendo esta uma trepadeira extremamente resistente, que se propaga facilmente cobrindo grandes árvores nativas, privando-as completamente do acesso à luz.

Nas áreas que margeiam o Rio Curu, a mata ciliar está bastante degradada e substituída, em sua maioria, por capoeiras e culturas diversas.

## **3.2 Cadastro dos poços**

A partir de um cadastro de informações sobre poços tubulares rasos em aluviões, obtidos na Secretaria da Agricultura Irrigada do Município de Pentecoste, verificaram-se os poços em condições técnicas para amostragem, sendo que 30% encontram-se desativados e até mesmo aterrados, não permitindo assim, a coleta dos níveis da água.

Os dados disponibilizados pela Secretaria de Agricultura Irrigada do Estado do Ceará (Seagri) constam de 25 termos de doação de servidão pública aos proprietários, onde em apenas 12 desses termos encontravam-se anexadas fichas técnicas de construção. Esses poços foram construídos com verbas do Governo do Estado do Ceará através do “Projeto de construção e aproveitamento de 5000 poços tubulares rasos em aluviões”, executados no ano 2002 pela Seagri com apoio de outros órgãos.

O projeto tinha como um dos objetivos, a construção de 50 poços rasos em cada município, sendo, portanto, de 25 poços por aluvião. O cadastro dos poços (TABELA 1)

restringiu-se às informações disponibilizadas pela Seagri e aos dados coletados em nível de campo, tais como as coordenadas UTM, lidas inicialmente com GPS Garmin, e a profundidade do poço.

Tabela 1 - Cadastro dos poços aluvionares do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

	Poço N°	Proprietário	Profundidade(m)	Coord. E	Coord. N
1	P-FEVC	UFC	6,85	0463089	9577877
2	P-A	Associação	Não Cadastrado	0462136	9574582
3	P-C1	Bento de Oliveira	9,10	0464165	9579478
4	P-C2	Fco Freires/ Eduardo Pacheca	Aterrado	0466620	9581530
5	P-C3	Joaquim Soares	7,21	0463952	9580165
6	P-C4	José Ito	Não encontrado	0466186	9580276
7	P-C5	Luiz Raimundo	5,86	0464248	9579592
8	P-C6	Maria das Dores	6,16	466323	9580797
9	P-C7	Raimundo Madeira	8,32	0466386	9581039
10	P-D1	Adelino Barboosa	7,57	0464630	9579964
11	P-D2	Joaquim Castro	6,18	0465679	9580252
12	P-D3	Bento Firmino	Aterrado	0465364	9580274
13	P-D4	Antonio Goes	8,19	0467328	9581870
14	P-D5	Alfredo/Fco Édio	5,39	0466468	9580804
15	P-D6	Amaro da Silva	8,5	0467193	9581781
16	P-E1	Associação	Lacrado	Não coletada	Não coletada
17	P-F1	Associação	Não encontrado	Não coletada	Não coletada
18	P-F2	Antonio Gomes	Aterrado	0469186	9584993
19	P-F3	Antonio Walternan	Não encontrado	Não coletada	Não coletada
20	P-F4	Francisco Eudes	9,48	0467595	9582055
21	P-F5	José Josimar	9,42	0469236	9585060
22	P-F6	Manoel de Sousa	9,84	0467211	9581921
23	P-F7	Maria de Sousa	9,49	0468091	9582290
24	P-F8	Sebastião Ferreira	9,35	0468915	9583775
25	P-F9	Raimundo Soares	7,68	0467338	9581736
26	P-F10	José Maria	9,21	0468812	9584122

### 3.3 Rede de fluxo hídrico subterrâneo

Diante das condições atuais dos poços cadastrados e da localização dos mesmos, a rede de fluxo foi obtida a partir de informações em 16 poços rasos localizados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

Na geração do mapa da rede de fluxo foi utilizado o programa SURFER 8.0 que permitiu traçar as linhas equipotenciais e as linhas de fluxo.

A confecção do mapa da rede de fluxo foi realizada a partir do levantamento planialtimétrico e medições de níveis estáticos dos poços, no dia 08 de maio de 2014. Para a interpolação de dados foi utilizado o procedimento de *krigagem*, com modelo de variograma linear usando um *grid* de 2,0 m x 2,0 m.

A rede de fluxo permitiu a obtenção das seguintes informações: equipotenciais, gradientes hidráulicos, sentido do fluxo subterrâneo, caracterização de regiões de recarga e de descarga e estimativa de fluxo subterrâneo no aquífero.

### 3.3.1 Levantamento Planialtimétrico

Na obtenção das coordenadas planialtimétricas dos poços foram utilizados receptores GPS (*Global Positioning System*) geodésico (FIGURA 4), frequência (L1, L2), com precisão de um erro máximo de 5 mm. Para o pós-processamento de dados do GPS foi adotado o método do “PPP” Posicionamento de Ponto Preciso do IBGE, cujo serviço é “on-line” e gratuito. Ele permite aos usuários de GPS a obtenção de coordenadas com boa precisão no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) e no International Terrestrial Reference Frame (ITRF).

Figura 4 - Obtenção de coordenadas UTM dos poços com GPS geodésico no PICP - CE.



Fonte: A autora (2014)

Para obtenção de uma maior precisão, o tempo de rastreamento do GPS deve ser de acordo com a distância da base do IBGE. Assim, de acordo com a recomendação do IBGE (TABELA 2) seria necessária a permanência de duas horas em cada ponto, porém comparando a precisão entre a captação de dados em uma e em duas horas, percebeu-se que em uma hora seria o suficiente para os estudos. Após a coleta de dados através do GPS, os mesmos foram transformados em um arquivo RINEX através da utilização do software GNSS Solutions. Posteriormente, as informações de campo e o arquivo gerado foram processados “on-line” no IBGE-PPP.

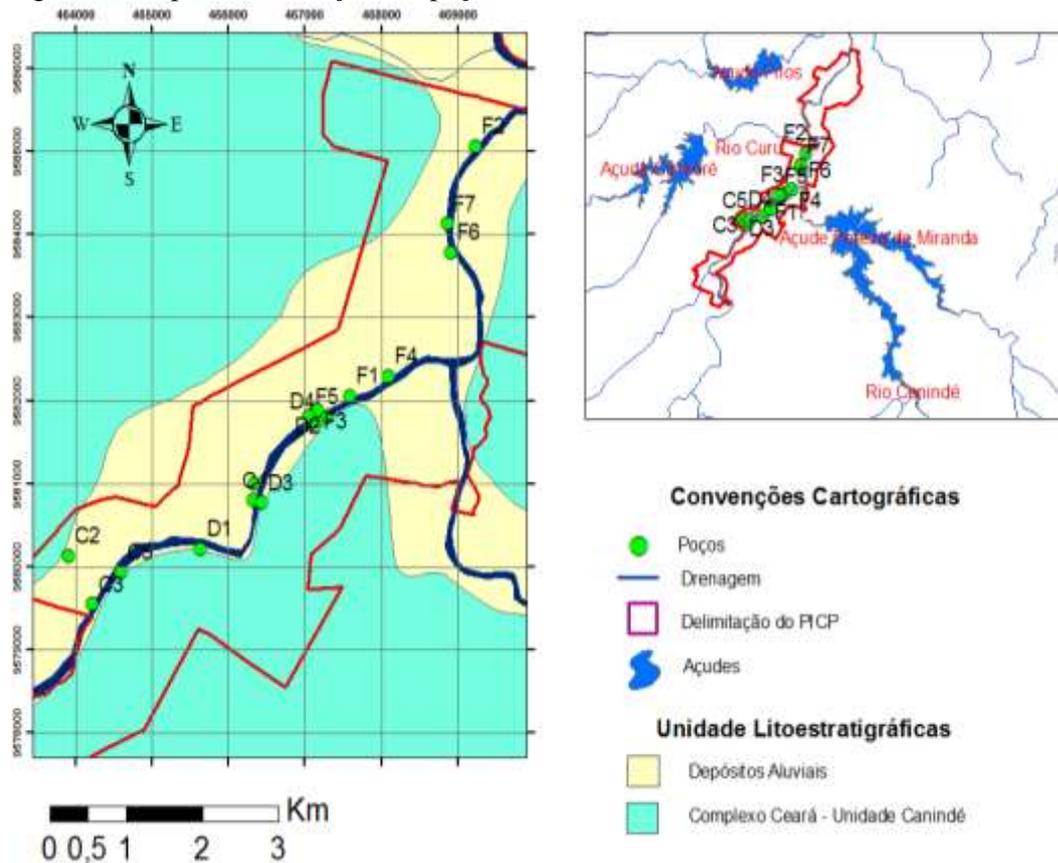
Tabela 2 - Precisão do posicionamento relativo em função do tempo de observação, equipamento utilizado e comprimento da linha de base.

Linha de Base	Tempo de Observação	Equipamento Utilizado	Precisão
<b>00 - 05 Km</b>	05 - 10 min	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm + 1ppm
<b>05 - 10 Km</b>	10 - 15 min	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm + 1 ppm
<b>10 - 20 km</b>	10 - 30 min	L1 ou L1/L2	5 – 10 mm + 1 ppm
<b>20 - 50 Km</b>	02 - 03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
<b>50 - 100 Km</b>	Mínimo 03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
<b>&gt; 100 Km</b>	Mínimo 04 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm

Fonte: IGN - Instituto Nacional (Espanña) - Curso GPS em Geodesia y Cartografía.

Com os dados de coordenadas UTM dos poços realizou-se uma plotagem dos mesmos (FIGURA 5) com o auxílio de ferramentas do SIG e do mapa geológico do Ceará disponibilizado pela CPRM. Para construção deste mapa foi utilizado o *Datum SAD 69*.

Figura 5 - Mapa de localização dos poços aluviais do PICP.



Fonte: A autora.

### 3.3.2 Nível estático

O nível estático corresponde ao nível d'água que permanece em equilíbrio no poço quando não está sendo bombeada. É a distância vertical entre a superfície do solo e o nível da água no poço. Foram mensurados os níveis estáticos em 15 poços rasos através de um medidor elétrico de nível d'água com sinal sonoro (FIGURA 6). Na leitura tomou-se como referência a boca do poço, porém subtraindo-a após a leitura do nível d'água.

Figura 6 – Medição do nível da água no poço F5 do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste - CE.



Fonte: A autora.

### 3.4 Caracterização hidráulica dos poços rasos

A partir do levantamento do nível estático, no dia 08 de maio de 2014 e do cadastro dos poços, realizaram-se os testes de produção em 11 poços e o teste de aquífero em 14 poços. Foram selecionados os que apresentaram uma maior carga hidráulica, associado ao fato de alguns já serem aproveitados como fonte de água para os cultivos através de sistema de irrigação localizada. Analisaram-se as seguintes variáveis: vazão máxima atual e capacidade específica, através do teste de produção, sendo que através do teste do aquífero, obtiveram-se os atributos condutividade hidráulica do solo saturado, transmissividade e porosidade efetiva.

#### 3.4.1 Teste de Produção

A vazão de exploração foi obtida através do teste de produção do tipo escalonado. Foi utilizado um conjunto motobomba BFG 2” auto escorvante, motor à gasolina de 6,5 cv, vazão máxima de  $35 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  e sucção máxima de 7,0 m, medidor de nível de 50m do tipo sonoro e um tambor de 200 L. No recalque foram utilizadas nove varas de cano de PVC de 6,0 m como forma de minimizar os riscos de retorno da água bombeada para o sistema. A

medida da vazão era efetuada após a estabilização do nível dinâmico da água no poço bombeado (FIGURA 7).

Figura 7 - Realização do teste de produção no poço raso F1, PICP -CE.



Fonte: A autora.

Devido a incidência de raízes em alguns poços, uma estrutura de madeira e uma tela foi posta no final da mangueira de sucção para que não houvesse interferência no teste, assim como não danificasse a motobomba (FIGURA 8).

Figura 8 - Rede contra entrada de impurezas na mangueira de sucção.



Fonte: A autora.

O teste de bombeamento escalonado foi realizado com três etapas consecutivas, sendo a primeira com uma vazão reduzida, a segunda aproximadamente 40% mais alta que a primeira e a terceira com a máxima vazão da bomba. Estas foram controladas a partir da abertura do registro e acompanhadas fazendo uma relação entre o rebaixamento e a vazão. Caso o coeficiente de determinação ( $r^2$ ) fosse menor que 0,9 outras vazões eram medidas. De posse dos dados de variação do rebaixamento do lençol freático e da relação rebaixamento/vazão com o aumento da vazão, foi estimada a vazão máxima de bombeamento. A vazão máxima era obtida por estimativa a partir de uma equação ajustada por regressão

para a condição em que o poço atingia um rebaixamento correspondente a 2/3 da sua carga hidráulica inicial, momento em que o poço responde por 92% da sua capacidade máxima de produção.

Segundo Johnson (1974), para se obter os 8% restante da produção seria necessário aumentar em 30% o rebaixamento, cujo custo do bombeamento não compensaria com o pequeno aumento de produção.

#### 3.4.1.1 Cálculo de perdas

Ao bombear a água subterrânea através de equipamentos em um poço tubular a uma determinada vazão (Q) ocorre um desequilíbrio ao sistema do aquífero, ocasionando assim um rebaixamento durante o tempo de bombeamento. O rebaixamento total observado em um poço bombeado é resultante de todas as perdas de cargas associadas ao movimento da água que são classificadas como perdas lineares e perdas não lineares.

Estas perdas foram calculadas com o auxílio de planilhas do *Microsoft Excel* pré-prontas, à quais eram alimentadas com as seguintes informações: Profundidade do poço, nível estático, altura da boca e com os valores de vazão e rebaixamento das três etapas do teste de produção. Construiu-se a curva característica do poço e a partir dos parâmetros calculou-se a vazão ótima de exploração em relação ao rebaixamento de produção máxima.

##### 3.4.1.1.1 Perdas no regime laminar (Perdas lineares)

As perdas laminares ( $\Delta S_L$ ) ocorrem no aquífero e nas vizinhanças do poço em regime de fluxo laminar, sendo diretamente proporcionais à vazão de bombeamento (Q), e representadas pelo produto de um coeficiente de proporcionalidade (B), chamado de perda de carga laminar, pela vazão (Q), como ilustrado na Equação 02:

$$\Delta S_L = BQ \quad (02)$$

As perdas laminares são divididas em três componentes: perdas no aquífero, perdas na transição para o pré-filtro e perdas devido a penetração parcial do aquífero.

### 3.4.1.1.2 Perdas no regime turbulento (Perdas não lineares)

As perdas não lineares ( $\Delta S_T$ ) ocorrem no interior do próprio poço e em suas vizinhanças em regime de fluxo turbulento, a quais são expressas pelo produto de um coeficiente de perdas de carga turbulentas (C), pela vazão ao quadrado, (Equação 03):

$$\Delta T = C Q^2 \quad (03)$$

As perdas turbulentas são divididas em dois componentes: Perdas na zona de pré-filtro, perdas na entrada dos filtros, perdas axiais ao longo dos filtros, perdas axiais ao longo do revestimento intermediário e perdas axiais na câmara de bombeamento.

A determinação do rebaixamento total nos poços bombeados é expressa como a soma do componente laminar de primeira ordem com o componente turbulento de segunda ordem de acordo com o sugerido por JACOB como ilustrado na equação denominada equação característica de funcionamento do poço (Equação 04):

$$S_w = B \cdot Q + C \cdot Q^2 \quad (04)$$

Em que,  $S_w$  é o rebaixamento médio no poço em bombeamento (m),  $B \cdot Q$  é o termo laminar e  $C \cdot Q^2$  o termo turbulento.

Dividindo a equação por  $Q$ , teremos uma equação linear  $S_w/Q$  e  $Q$ :

$$S_w/Q = B + C \cdot Q \quad (05)$$

onde  $B$  e  $C$  são coeficiente linear e angular de uma reta respectivamente, obtidos diretamente do gráfico construído com os valores de  $S_w/Q$  e  $Q$ .

Para construção da equação poço um coeficiente é representativo para o somatório das perdas laminares, dado por  $B$  onde  $B = B_1 + B_2 + B_3$ , e outro para as perdas turbulentas, dado por  $C$ , onde  $C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5$ , assim, fica-se com a expressão generalizada já apresentada.

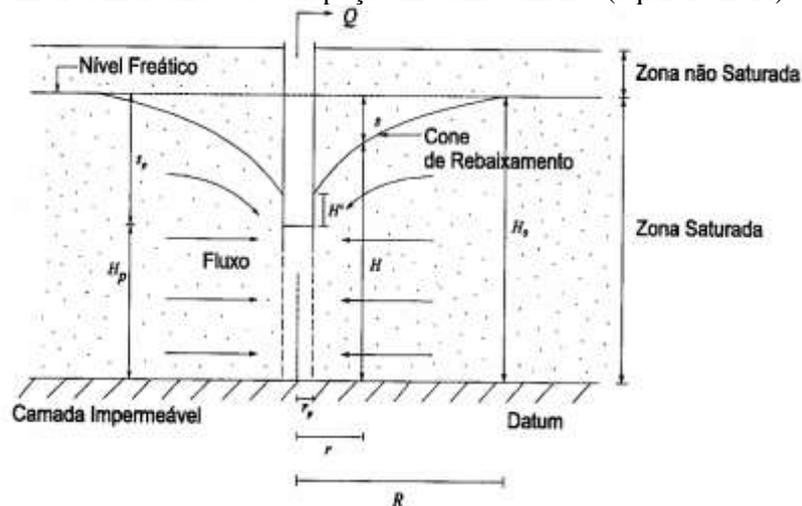
### 3.4.2 Capacidade específica

As maiores produtividades nos poços são verificadas através dos valores de capacidade específica, obtidas quando a vazão é dividida pela diferença entre nível dinâmico e nível estático, ou seja, corresponde à quantidade de água retirada do poço por unidade de rebaixamento e geralmente, expressa em  $[(m^3h^{-1})m^{-1}]$ . De acordo com Oliveira (2004), a variação dos valores de capacidade específica é diretamente relacionada à espessura das fácies conglomeráticas interceptada pelo poço, ou seja, ocorre uma variação de acordo com o perfil litológico onde o poço está instalado.

### 3.4.3 Raio de influência

O raio de influência corresponde à distância do centro do poço até o ponto aonde o cone de depressão chega a corresponder ao nível estático inicial, portanto, ao ponto de rebaixamento nulo (CRUCIANI,1980). Este é de extrema importância ao projetar uma locação de poços. Ao ser bombeada, a água que migra por gravidade para o poço cria uma deformação na forma e um cone no nível da água nas proximidades do poço, o raio que abrange essa deformação é definido como raio de influência do poço. (FIGURA 9).

Figura 9 - Parâmetros hidráulicos de um poço em bombeamento (aquífero livre).



Fonte: Feitosa & Manoel Filho (1997)

No dia 22 de maio de 2014, poços de observação do nível d'água foram perfurados com trado tipo caneco de quatro polegadas (FIGURA 10). Porém, devido à

profundidade do lençol freático e as características do perfil litológico do solo, o processo de perfuração foi dificultado, optando-se assim em calcular as características hidrogeológicas através das fórmulas propostas existentes.

Figura 10 – Poço de observação do nível d'água.



Fonte: A autora.

A definição do raio de influência é de suma importância para que seja possível definir possíveis interferências com outros poços em operação e também para futuras construções de outros poços.

De acordo com Feitosa e Manoel Filho (2000, p. 267), o raio de influência para o instante de bombeamento considerado pode ser expresso pela equação de Jacob comparada com a equação de Thiem (EQUAÇÃO 06). Esta pode ser utilizada para o regime transitório, que expressa a variação do raio de influência com o tempo de bombeamento.

$$R = 15 \sqrt{\frac{T \cdot t}{\eta}} \quad (06)$$

Em que,

R : Raio de influência (m);

T : Transmissividade ( $m^2 s^{-1}$ )

t : Tempo de bombeamento (s)

$\eta$  : Porosidade efetiva (Coeficiente de armazenamento) (adimensional).

A equação expressa a variação do raio de influência com o tempo. Este parâmetro, assim definido, depende do tempo e das características hidrogeológicas do aquífero, não

dependendo da vazão de bombeamento. Como se trata de aquífero livre, o Coeficiente de Armazenamento “S” foi substituído pela porosidade efetiva “ $\eta_e$ ”.

Considerando que o poço não será usado por mais de 12h diárias, considerou-se um tempo de bombeamento de 12h para fins do cálculo do raio de influência, tendo em vista a jornada diária de trabalho.

#### ***3.4.4 Coeficiente de transmissividade e condutividade hidráulica do solo saturado***

É a capacidade de transmissão de água através de toda a espessura saturada do aquífero, correspondente ao produto da condutividade hidráulica do solo saturado pela espessura saturada do aquífero, podendo ser expressa em  $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$  ou  $\text{m}^2 \text{dia}^{-1}$  (CRUCIANI, 1980). Ou seja, é a vazão da água que escoar através de uma faixa vertical de largura unitária e espessura igual a da camada saturada, quando o gradiente hidráulico é igual a 1,0.

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_o$ ) é um dos principais parâmetros hidrodinâmicos do solo, de interesse para estudos da água subterrânea. O cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_o$ ) foi efetuado através do método “*auger-hole*”, conhecido como método do poço ou do furo de trado. Esse é um método de campo muito empregado por sua simplicidade, rapidez e precisão.

Este método consiste em abrir um orifício no solo até ultrapassar a profundidade do lençol freático. Após algum tempo o orifício se enche de água até o equilíbrio com o nível do lençol. Após esse equilíbrio esvazia-se parcialmente o orifício, o que faz com que a água volte a ele tendendo novamente à situação anterior. Assim cronometra-se o tempo de elevação do nível de água no orifício e o cálculo de  $K_o$  é feito através de equação que correlaciona a velocidade de ascensão da água, às condições do meio e a geometria do orifício (COSTA, 2008). No caso desta pesquisa os próprios poços rasos em estudo foram utilizados para realização dos testes (FIGURA 11). Através da utilização de uma motobomba de 6,7cv, foi realizado o rebaixamento do lençol freático, após a estabilização do nível dinâmico calculava-se o rebaixamento e cronometrava-se o tempo de recuperação de  $\frac{1}{4}$  deste rebaixamento, sendo a leitura da recuperação realizada através do medidor de nível d'água elétrico do tipo sonoro.

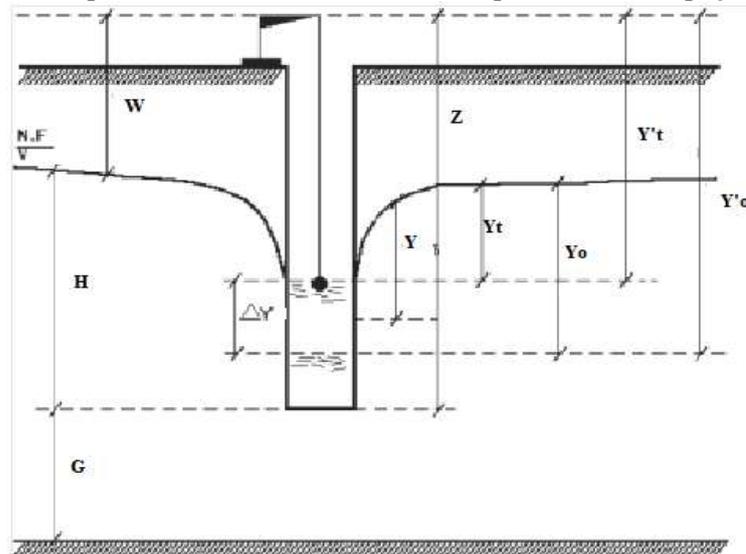
Figura 11 - Teste de Condutividade Hidráulica em um poço aluvionar no PICP.



Fonte: A autora.

As variáveis de campo necessárias ao cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) pelo método do poço, encontram-se ilustrados na FIGURA 12.

Figura 12 – Dados de campo necessários à estimativa de  $K_0$  pelo método do poço.



Fonte: COSTA (2008)

Há duas situações distintas dos poços estudados. Alguns, onde o fundo do poço ultrapassa o nível freático, mas não atinge a camada impermeável e outros, onde o fundo do poço atinge a camada impermeável. Assim, foram utilizadas duas fórmulas para a obtenção da  $K_0$ , seguindo a metodologia proposta por ERNST, citada por Cruciani (1989) (Eq. 07 e Eq. 08). Para a primeira situação, a geometria ideal deve ser tal que a distância entre o fundo do

poço e a camada impermeável seja maior que a metade da distância entre o nível freático e o fundo do poço.

*O fundo do poço não atinge a camada impermeável:*

$$K_o = \frac{4000r^2}{(H + 20r)\left(2 - \frac{Y}{H}\right)y} \cdot \frac{\Delta Y}{\Delta t} \text{ m/dia} \quad (07)$$

*O fundo do poço atinge a camada impermeável:*

$$K_o = \frac{3600r^2}{(H + 10r)\left(2 - \frac{Y}{H}\right)y} \cdot \frac{\Delta Y}{\Delta t} \text{ m/dia} \quad (08)$$

Em que,

H: Profundidade do poço, abaixo do nível freático(m) ;

Y: distância entre o nível freático e o ponto médio dos níveis de água no intervalo de tempo (m);

r: raio do poço(m);

$\Delta y$ : intervalo de altura no tempo (m);

$\Delta t$ : intervalo de tempo entre duas leituras(s).

### 3.4.5 Coeficiente de armazenamento

É definido como o volume de água que pode ser liberado ou armazenado por unidade de área do aquífero quando a linha potenciométrica abaixa 1,0 m. No caso de aquíferos livres, que é o caso deste estudo, corresponde à porosidade efetiva ou porosidade drenável, ou seja, corresponde ao volume de água drenada de uma camada do aquífero em relação ao volume de solo drenado.

Nos aquíferos livres, a água retirada do armazenamento é liberada mediante a compactação do aquífero, expansão da água e a drenagem dos poços. Em função desses fenômenos o parâmetro que representa o armazenamento, denominado de coeficiente de armazenamento efetivo ( $S_{ef}$ ), é dado pela Equação 09:

$$S_{ef} = S + \eta e \quad (09)$$

Em que,

$S_{ef}$ : coeficiente de armazenamento efetivo;

S: coeficiente de armazenamento;

$\eta_e$ : porosidade efetiva.

O valor correspondente ao coeficiente de armazenamento (S) é muito pequeno em aquíferos livres, sendo assim desprezível. Portanto, o valor do coeficiente de armazenamento efetivo é a própria porosidade efetiva (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000).

Porosidade drenável ou porosidade efetiva é o volume de poros drenados por unidade de volume de um solo previamente saturado, quando o teor de umidade cai de saturado (potencial mátrico zero) para um teor de umidade em equilíbrio com uma tensão de 6 kPa (ABNT, 1998 *apud* SALES *et al.*, 2004). Foi estimada de acordo com a equação de Biecinski (Eq. 09), proposta por Feitosa e Manoel Filho (2000).

$$\eta_e = 0,117 \times \sqrt[7]{K} \quad (10)$$

Em que,

$\eta_e$ : porosidade efetiva ou drenável;

K: condutividade hidráulica do solo saturado.

### 3.5 Cálculo das reservas hídricas subterrâneas permanentes

A reserva permanente ( $R_p$ ) corresponde ao volume de água armazenada no aquífero, abaixo da superfície mínima de variação periódica dos níveis de água, ou seja, é a água subterrânea localizada na zona saturada abaixo da posição mínima do nível de oscilação sazonal da superfície piezométrica do aquífero livre (FEITOSA e MANOEL FILHO, 2000). Para estimativa da reserva do aquífero aluvionar são consideradas as suas características dimensionais e hidrodinâmicas. As reservas permanentes foram calculadas utilizando-se a equação:

$$R_p = A \times b \times \eta_e \quad (11)$$

Em que,

A: é a área de ocorrência do sistema aquífero ( $L^2$ ),

B: é a espessura média saturada (L), e

$\eta_e$ : é a porosidade efetiva (adimensional).

### 3.6 Avaliação da qualidade da água para fins de irrigação

Amostras de água dos poços rasos foram coletadas para fins de análises com vistas à sua classificação, riscos potenciais de salinidade e/ou sodicidade do solo, além de riscos com vistas à obstrução em sistemas de irrigação localizados. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Solo e Água do Departamento de Solos da UFC.

Foram feitas análises dos seguintes elementos: Cátions ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) e Ânions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3$ ), CE, RAS, pH e Sólidos dissolvidos, assim através da utilização do diagrama de U. S. Salinity Laboratory (USSL). Baseado na condutividade elétrica (CE) e na relação de adsorção de sódio (RAS) foi realizada a classificação da água para irrigação de acordo com a classificação proposta por Richards (1954).

Foi feita uma correção da RAS para melhor previsão com problemas de infiltração causados por concentrações relativamente altas de sódio ou baixa de cálcio nas águas de irrigação, conforme sugerido por Suarez (1981). A  $\text{RAS}^0$  corrigida foi calculada da mesma maneira que a RAS, corrigindo o teor de cálcio ( $\text{Ca}^0$ ) na água de irrigação, pelo teor de  $\text{HCO}_3/\text{Ca}$ , mediante a seguinte expressão:

$$\text{RAS}^0 = \text{Na} / [(\text{Ca}^0 + \text{Mg}) / 2]^{1/2} \quad (12)$$

Em que,

$\text{Na}$ : concentração de Sódio na água de irrigação em  $\text{mmolc L}^{-1}$ ;

$\text{Ca}^0$ : concentração de Cálcio na água de irrigação corrigida em  $\text{mmolc L}^{-1}$ ;

$\text{Mg}$ : concentração de Magnésio na água de irrigação em  $\text{mmolc L}^{-1}$ .

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Teste do aquífero

Os resultados dos testes nos 14 poços avaliados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros hidrodinâmicos de 14 poços avaliados no PICP-CE.

Poço	Ko (cm s <sup>-1</sup> )	T (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	Porosidade ( $\eta e$ )	Raio de Influência (12h) (m)	Raio de Influência (24h) (m)	Q (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )
C1	2,21E-02	1,30E-03	17,8%	26,6	37,6	16,5
C2	2,15E-02	9,99E-04	17,8%	23,4	33,1	11,9
C3	2,94E-02	9,23E-04	18,6%	22,0	31,1	25,9
C4	1,25E-02	3,90E-04	16,4%	15,2	21,5	-
C5	3,04E-03	1,56E-04	13,4%	10,6	15,0	4,8
C6	2,92E-02	1,37E-03	18,6%	26,8	37,9	33,9
D2	3,53E-02	1,75E-03	19,1%	29,9	42,3	68
D4	3,58E-02	1,69E-03	19,1%	29,3	41,5	63
F1	4,58E-02	2,05E-03	19,8%	31,7	44,9	33,4
F3	1,43E-02	7,73E-04	16,8%	21,2	29,9	-
F4	3,60E-02	1,84E-03	19,1%	30,6	43,2	-
F5	1,79E-03	1,14E-04	12,5%	9,5	13,4	4,5
F6	7,03E-03	3,40E-04	15,1%	14,8	20,9	13,6
F7	4,99E-02	2,79E-03	20,0%	36,8	52,0	111,9

Ko: condutividade hidráulica; T: transmissividade; Q: vazão.

#### 4.1.1 Condutividade Hidráulica (Ko)

A condutividade hidráulica expressa a velocidade aparente por gradiente hidráulico unitário. Ela é diretamente proporcional às características do perfil litológico, ou seja, do meio poroso em estudo.

Os dados de condutividade hidráulica dos poços avaliados variaram entre  $1,79 \times 10^{-3}$  (F5) e  $4,99 \times 10^{-2}$  cm s<sup>-1</sup> (F7), amplitude esta que pode ser explicada pela alta variabilidade espacial e litológica dos solos aluviais.

Analisando os resultados pela Tabela 4, proposta por Fetter (1988), onde são apresentados alguns valores de condutividade hidráulica relacionadas com vários materiais não consolidados, os materiais encontrados na área em estudo seriam do tipo areia fina a silte arenos, materiais estes comum em área aluvionais.

Tabela 4 – Faixas de valores de Condutividade Hidráulica com relação ao tipo de material.

<b>Material</b>	<b>Condutividade Hidráulica (cm s<sup>-1</sup>)</b>
<b>Argila</b>	10 <sup>-9</sup> - 10 <sup>-6</sup>
<b>Silte, Silte arenoso</b>	10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-4</sup>
<b>Areia argilosa</b>	10 <sup>-6</sup> - 10 <sup>-4</sup>
<b>Areia siltosa, Areia fina</b>	10 <sup>-5</sup> - 10 <sup>-3</sup>
<b>Areia bem distribuída</b>	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-1</sup>
<b>Cascalho bem distribuído</b>	10 <sup>-2</sup> - 10 <sup>0</sup>

Fonte: Fetter, 1988 *apud* Feitosa, 2000, p.42.

#### 4.1.2 Transmissividade (T)

Para as condições do período de estudo, referente à medições da condutividade hidráulica e espessura do aquífero (22/07/2014 à 01/08/2014), os valores de transmissividade variaram entre  $1,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (F5) e  $2,79 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  (F7). Esta faixa de valores confere também uma elevada amplitude de vazões, as quais podem variar de muito baixa a alta, conforme demonstram os dados contidos na Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação da transmissividade com a vazão dos poços.

<b>Transmissividade (T) (m<sup>2</sup>/s)</b>	<b>Classificação Estimativa</b>	<b>Vazão média característica (m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>T &lt; 1,45x10<sup>-4</sup></b>	Muito Baixa	menos de 3,6
<b>1,45x10<sup>-4</sup> &lt; T &lt; 1,16x10<sup>-3</sup></b>	Baixa	entre 3,6 a 36
<b>1,16 x10<sup>-3</sup> &lt; T &lt; 5,79x10<sup>-3</sup></b>	Média a Alta	entre 36 a 180
<b>5,79x10<sup>-3</sup> &lt; T &lt; 1,16x10<sup>-2</sup></b>	Alta	entre 180 a 360
<b>T &gt; 1,16x10<sup>-2</sup></b>	Muito Alta	superiores a 360

Fonte: Villanueva & Iglesias, 1984 *apud* Maia (2010).

De acordo com Maia (2010), os valores da transmissividade do aluvião do Perímetro Irrigado Morada Nova se situavam entre  $1,06 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  a  $2,88 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ , com média de  $2,13 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$  para o período avaliado (Julho de 2010), assemelhando-se com os valores médios observados no aluvião do PICP. Estes valores conferem excelentes características desses aquíferos em relação à transmissividade da água no solo.

#### 4.1.3 Porosidade efetiva ( $\eta_e$ )

O espaço poroso do solo é a porção ocupada pelo ar e/ou pela água, sendo o tamanho deste espaço poroso determinado principalmente pela distribuição e arranjo das partículas sólidas do mesmo (BUCKMAN & BRADY, 1989 *apud* FEITOSA e MANOEL

FILHO, 2000). De acordo com Custódio e Llamas (1996), os valores da porosidade efetiva em aluviões variam entre 6,7% e 27,8%, conforme demonstram dados apresentados na Tabela 6. A porosidade efetiva média do aluvião do Rio Curu em áreas do PICP é da ordem de 17,43%.

Camadas sedimentares com poros maiores retêm pouca ou nenhuma água, porém são muito efetivas na condução de água sob condições saturadas. No caso de aquíferos formados por camadas sedimentares com poros maiores significa que este terá uma boa condução da água ao ser bombeado através de poços rasos.

Tabela 6 – Média da porosidade efetiva de diversos tipos de rochas.

Tipo de Rocha	Porosidade Efetiva ( $\eta_e$ ) %		
	Média	máx	mín
<b>Calcário Maciço</b>	0,25	0,83	0
<b>Rochas Metamórficas</b>	0,5	2	0
<b>Rochas Vulcânicas</b>	7,2	26,4	0,42
<b>Rochas Sedimentares Consolidadas</b>	4	12,5	0,17
<b>Aluviões</b>	16,42	27,8	6,7
<b>Argilas</b>	10	20	1

Fonte: Custódio e Llamas, (1983)

#### **4.1.4 Raio de Influência (R)**

Os valores do raio de influência foram calculados para um bombeamento de 12 horas e de 24 horas, variando entre 9,5 m (Poço F5) e 36,8 m (Poço F7) para um bombeamento de 12 horas e de 13,4m a 52m para um bombeamento de 24 h. Estes valores servem para locação de futuros poços, os quais devem ter uma distância de duas vezes o raio de influencia para que não haja interferência entre os mesmos.

Maia (2010) observou valores médios de 23,1m para 1,0 hora de bombeamento e 113,04 m para 24 horas de bombeamento em poços no aluvião do Rio Banabuiu - CE.

#### **4.2 Teste de Produção**

Na Tabela 7 são apresentados dados obtidos em testes de produção nos poços rasos avaliados no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, cujas informações mais detalhadas dos respectivos testes estão contidas nos anexos A ao I.

A elevada amplitude nos valores de vazões está associada à variabilidade espacial de atributos dos solos aluviais, em especial da disposição vertical das camadas, cuja textura tem um reflexo nas condições de transmissão de água no solo. A título de ilustração verificam-se as vazões dos poços F5 e F7, cujos valores de  $4,5 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  e  $111,9 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ , respectivamente, podem ser explicadas por suas capacidades de transmissão de água no perfil do solo traduzidas nos valores de condutividade hidráulica do solo saturado, conforme se observa na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados obtidos em testes de produção em poços rasos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

Poço	Profundidade (m)	NE (m)	H (m)	Q ( $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ )	Ko (m dia <sup>-1</sup> )
C1	8,53	2,80	5,73	16,5	19,09
C2	7,45	2,90	4,55	11,9	18,58
C3	6,37	3,29	3,08	25,9	25,40
C5	8,40	3,40	5,00	4,80	2,63
C6	9,02	4,43	4,59	33,9	25,23
D2	8,83	3,97	4,86	68,0	30,50
D4	8,48	3,86	4,62	63,0	39,57
F1	9,46	5,08	4,38	33,4	39,57
F5	7,67	1,41	6,26	4,50	1,55
F6	9,38	4,64	4,64	13,6	6,07
F7	9,22	3,75	3,75	111,9	43,11
Média				35,2	

NE: nível estático; H: carga hidráulica; Q: vazão; Ko: condutividade hidráulica.

Os testes de produção nos poços rasos C<sub>1</sub> e D<sub>2</sub> demonstram a relação de vazão com o perfil litológico. Enquanto o poço C<sub>1</sub> coincide com uma camada de solo arenosa de granulação com seixos pequenos, o poço D<sub>2</sub> coincide com uma formação de solo arenoso de granulação grossa, conforme demonstram os resultados dos testes de produção contidos nas Tabelas 8 a 13 e os respectivos perfis litológicos contidos nas Figuras 17 e 18.

Maia (2010) em pesquisa na qual realizou testes de produção em poços rasos construídos nos aluviões do Rio Banabuiu, localizados no Perímetro Irrigado de Morada Nova-CE obteve vazões de exploração variando entre  $40 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  e  $100 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$ .

### Resultados do teste de produção do tipo escalonado - poço C1

Tabela 8 - Dados do poço C1.

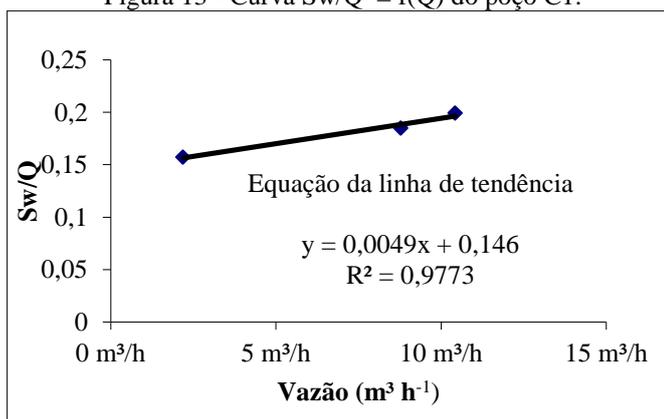
Poço	Localização	Município	Coordenadas UTM	Data do teste
C1	Núcleo C - PICP	Pentecoste	466344/9580996	11/12/2013
Proprietário	Profundidade (m)	NE (m)	Altura da boca (m)	Coluna d'água (m)
Rdo Madeira Albuquerque	8,33	2,73	0,17	5,6

Tabela 9 - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço C1.

Nível estático NE (m)	Vazão Q (m³ h⁻¹)	Nível dinâmico ND (m)	Rebaixamento Sw (m)	Sw/Q	CE = Q/Sw m³ h⁻¹ m
2,73	2,193	3,075	0,345	0,15732	6,36
	8,78	4,355	1,625	0,18508	5,40
	10,43	4,81	2,08	0,19942	5,01

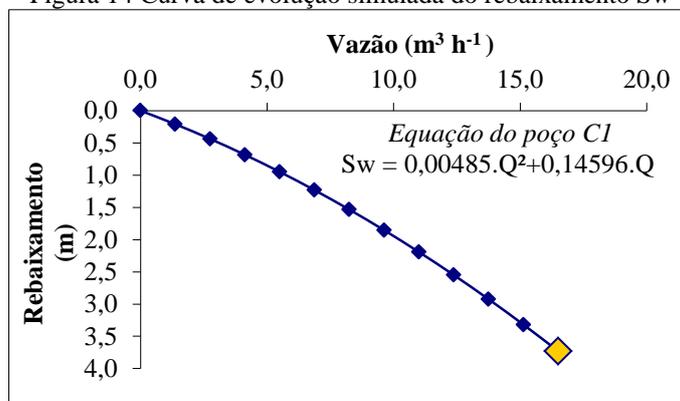
CE = Capacidade específica do poço.

Figura 13 - Curva Sw/Q = f(Q) do poço C1.

Tabela 10 - Dados da construção da curva  $Q = f(Sw)$  e nível dinâmico.

Q (m³ h⁻¹)	Sw (m)	ND(m)
0,0	0,0	2,7
1,4	0,2	2,9
2,8	0,4	3,2
4,1	0,7	3,4
5,5	1,0	3,7
6,9	1,2	4,0
8,3	1,5	4,3
9,6	1,9	4,6
11,0	2,2	4,9
12,4	2,6	5,3
13,8	2,9	5,7
15,1	3,3	6,0
16,5	3,7	6,5

Figura 14 Curva de evolução simulada do rebaixamento Sw



■ Vazão e rebaixamento máximo de exploração.

### Resultados do teste de produção do tipo escalonado - poço D2

Tabela 11 - Dados do poço D2

Poço	Localização	Município	Coordenadas UTM's	Data do teste
D2	Núcleo D - PICP	Pentecoste	4672962/9581795	31/07/2014
Proprietário	Profundidade total (m) + Boca	NE (m) + Boca	Altura da boca (m)	Coluna d'água(m)
Antonio Goes	8,825	3,965	0,60	4,86

Tabela 12 - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço D2.

Nível estático NE (m)	Vazão Q (m³/s)	Nível dinâmico ND (m)	Rebaixamento Sw (m)	Sw/Q	CE = Q/Sw m³ h⁻¹ m
3,97 m	17,1	4,42	0,455	0,02661	37,58
	20	4,51	0,545	0,02725	36,69
	23,04	4,635	0,67	0,02908	34,39

CE = Capacidade específica do poço.

Figura 15 - Curva Sw/Q = f(Q) do poço D2.

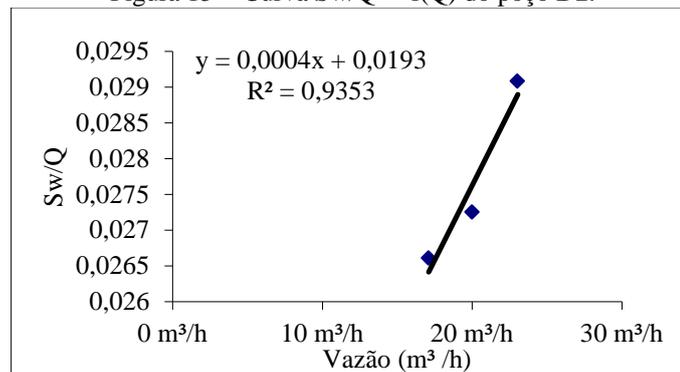
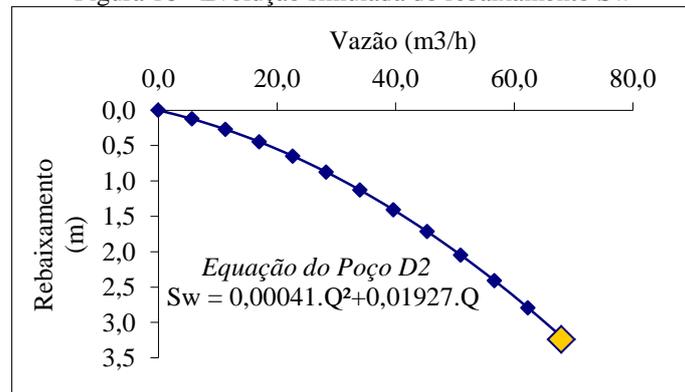


Tabela 13 - Dados da construção da curva Q = f(Sw) e nível dinâmico - Poço D2.

Q (m³ h)	Sw (m)	ND(m)
0,0	0,0	4,0
5,7	0,1	4,1
11,3	0,3	4,2
17,0	0,4	4,4
22,7	0,6	4,6
28,3	0,9	4,8
34,0	1,1	5,1
39,7	1,4	5,4
45,3	1,7	5,7
51,0	2,0	6,0
56,6	2,4	6,4
62,3	2,8	6,8
68,0	3,2	7,2

Figura 16 - Evolução simulada do rebaixamento Sw



■ Vazão e rebaixamento máximo de exploração.

Figura 17 - Perfil litológico do poço C1 - núcleo C do PICP.

PERFIL INDIVIDUAL DE CONSTRUÇÃO DE POÇO A TRADO									
CIDADE: Pentecoste		LOCALIDADE: Lote B -13 Setor 7		REGIÃO: 02	PROPRIETÁRIO: Raimundo Madeira Albuquerque Filho			TÉCNICO: Manoel Vilson Eufrazio Gomes	
POÇO No. PT 04	COTA 74 m	PROFUND. FINAL (m) 8,00 m	NÍVEL D' ÁGUA 3,20 m	VAZÃO m <sup>3</sup> /h 27,2	NÍVEL ESTÁTICO (m) 3,65	NÍVEL DINÂMICO (m <sup>2</sup> ) 5,40	COND. ELÉTRICA (CE µ S) 1500	COORDENADAS: X: 0466386 Y: 9581039	
UNIDADE LITOLÓGICA	ESCALA DE PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA					PERFIL CONSTRUTIVO	
Aluvião		1	SOLO ARGILOSO ARENOSO						
-		2	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO MÉDIA						
-		3							
-	NA →	4	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA COM SEIXOS PEQUENOS						
-		5							
-		6	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA COM SEIXOS PEQUENOS						
-		7							
-		8							
-		9							
-		10							

Fonte: Secretaria de Agricultura Irrigada -SEAGRI.

Figura 18 - Perfil litológico do poço D2 - núcleo D do PICP.

PERFIL INDIVIDUAL DE CONSTRUÇÃO DE POÇO A TRADO											
CIDADE: Pentecoste		LOCALIDADE: Lote D -		REGIÃO: 02	PROPRIETÁRIO: Antônio Góes de Sousa			TÉCNICO: Manoel Vilson Eufrazio Gomes			
POÇO No. PT 09	COTA 84 m	PROFUND. FINAL (m) 8,50 m	NÍVEL D' ÁGUA 2,50 m	VAZÃO m <sup>3</sup> /h	NÍVEL ESTÁTICO (m)	NÍVEL DINÂMICO (m <sup>2</sup> )	COND. ELÉTRICA (CE µ S) 1920	COORDENADAS: X: 046732E Y: 9581870			
UNIDADE LITOLÓGICA	ESCALA DE PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA					PERFIL CONSTRUTIVO			
Aluvião		1	SOLO ARENO ARGILOSO								
-		2	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO FINA								
-	NA →	3									
-		4	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA								
-		5									
-		6	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA COM SEIXO GRANDE								
-		7									
-		8									
-		9	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO FINA								
EMBASAMENTO CRISTALINO		10									

Fonte: Secretaria de Agricultura Irrigada -SEAGRI

Nas Figuras 19 e 20 mostram os gráficos que expressam equações de melhor ajuste entre vazão dos poços rasos e os atributos hidrodinâmicos condutividade hidráulica do solo saturado e transmissividade, respectivamente. Os ajustes demonstram correlações positivas e muito fortes entre a variável dependente vazão e as duas variáveis independentes, condutividade hidráulica e transmissividade.

Figura 19 – Ajuste estatístico da vazão em função da condutividade hidráulica.

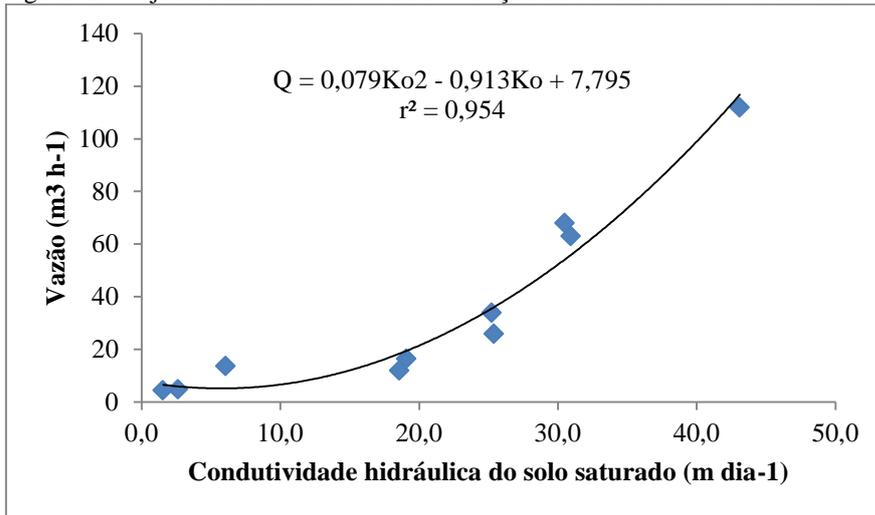
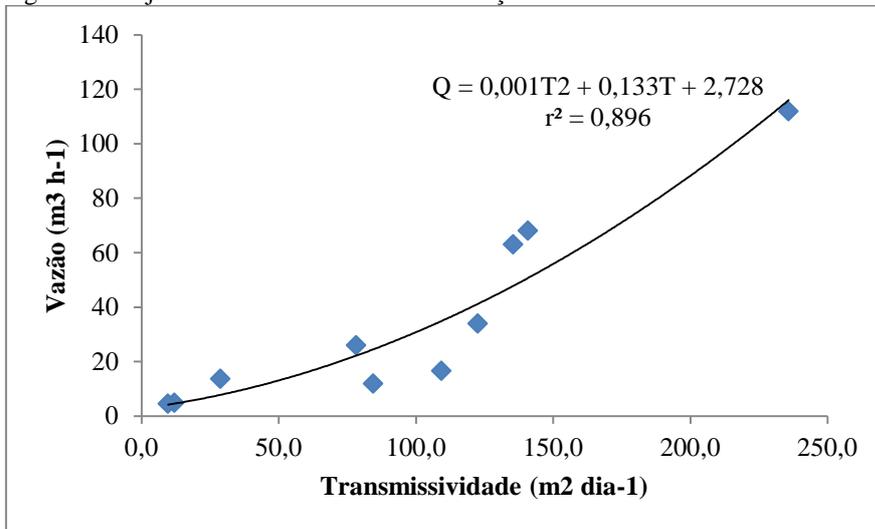


Figura 20 - Ajuste estatístico da vazão em função da transmissividade.



Nas Tabelas 14 e 15 são apresentados os valores de vazões estimadas a partir dos modelos estatísticos de melhor ajuste, bem como os erros relativos relacionados aos valores de vazões obtidos a partir dos testes de produção. Verifica-se que apesar dos elevados valores dos coeficientes de determinação dos modelos de melhor ajuste, as vazões estimadas a partir da variável  $K_o$  apresenta menores erros relativos de um modo geral, não obstante o uso destas equações para as condições da presente pesquisa pode levar a erros grosseiros.

Tabela 14 - Valores de erros relativos da estimativa da vazão como função da condutividade hidráulica.

Q (teste)	16,5	11,9	25,9	4,8	33,9	68,0	63,0	4,5	13,6	111,9
Q = Q (Ko)	19,2	18,10	35,6	5,9	35,0	53,4	55,1	6,6	5,2	115,3
Erro relativo	0,16	0,52	0,37	0,24	0,03	-0,21	-0,12	0,46	-0,62	0,03

Tabela 15 - Valores de erros relativos da estimativa da vazão como função da transmissividade.

Q (teste)	16,5	11,9	25,9	4,8	33,9	68,0	63,0	4,5	13,6	111,9
Q = Q (T)	29,3	21,1	19,3	4,5	34,1	41,3	39,1	4,1	7,4	89,7
Erro relativo	0,77	0,74	-0,26	-0,07	0,005	-0,39	-0,38	-0,09	-0,46	-0,20

### 4.3 Avaliação da qualidade de água

A existência ou aparecimento de problemas de salinidade na área irrigada constitui, também, um problema concernente ao meio ambiente. Fornecimentos de água de irrigação que tem concentração elevada de sais ou níveis elevados de água subterrânea, resultantes de um uso excessivo de água, drenagem natural pobre ou a combinação desses fatores, podem criar mudanças significativas no meio ambiente.

No Perímetro Irrigado Curu Pentecoste apesar de se utilizar o sistema de irrigação por sulcos com água oriunda de fonte superficial, a alternativa de fonte de água subterrânea proveniente de poços rasos tem viabilizado o uso da irrigação localizada.

De acordo com as análises de água realizadas no Laboratório de Solo e Água do CCA/UFC (Tabela 16), verifica-se em base aos limites apresentados por Richards (1954) e para todas as amostras, tratar-se de água de alta salinidade ( $C_3$ ), não sendo recomendada, portanto, para solos com drenagem deficiente e mesmo com drenagem adequada podem ser necessárias práticas especiais de controle da salinidade, devendo, por conseguinte, ser utilizada na irrigação de espécies vegetais de alta tolerância aos sais. Já para Ayers e Westcot(1991), águas com CE entre 0,7 e 3,0  $dS m^{-1}$  apresentam moderado problema de salinidade.

Tabela 16 - Resultados das análises de água para irrigação do aquífero aluvionar do Rio Curu, PICP- CE.

Poço	Cátions (mmolc L <sup>-1</sup> )				Ânions (mmolc L <sup>-1</sup> )			CE (dS m <sup>-1</sup> )	RAS (mg L <sup>-1</sup> )				Classificação
	Ca	Mg	Na	K	Soma	Cl	HCO <sub>3</sub>	Soma	CE	RAS	pH	STD	
<b>C2</b>	2,5	4,2	4,3	0,2	11,2	7,7	3,6	11,3	1,14	2,37	6,3	1.140	C3S1
<b>C6</b>	2,4	3,7	7,5	0,1	13,7	8,1	6,2	14,3	1,43	4,31	7,0	1.430	C3S1
<b>D2</b>	3,4	3,6	3	0,1	10,1	6,3	4,2	10,5	1,02	1,59	6,6	1.020	C3S1
<b>D4</b>	3,8	4,6	3,5	0,1	12	7,9	4,5	12,4	1,22	1,72	6,8	1.220	C3S1
<b>F1</b>	3,2	4,2	3,3	0,1	10,8	6,1	5	11,1	1,06	1,71	6,8	1.060	C3S1
<b>F3</b>	2,3	4	4,7	0,1	11,1	6,9	4,5	11,4	1,06	2,67	7,0	1.060	C3S1
<b>F4</b>	3,3	4	2,8	0,1	10,2	6,5	4,1	10,6	1,04	1,48	6,5	1.040	C3S1
<b>F6</b>	3,5	4,3	7,1	0,1	15	8,9	6,9	15,8	1,54	3,62	7,1	1.540	C3S1
<b>F7</b>	1,9	3	6,3	0,1	11,3	6,1	6,3	12,4	1,18	4,05	7,1	1.180	C3S1

Considerando, no entanto, que o sistema de irrigação a ser utilizado é do tipo localizado com prevalência para a microaspersão e ainda que a cultura com maior área irrigada no Perímetro é a do coqueiro, os riscos apresentados por esta classe de água são minimizados, tendo em vista a alta frequência de irrigação, a qual deixa o solo quase sempre próximo à capacidade de campo, bem como pela resistência da cultura do coqueiro à irrigação com água salina.

Marinho *et al.* (2005) estudaram o uso de água salina na irrigação do coqueiro e observaram que as plântulas afetadas pela salinidade retomaram o crescimento no ritmo daquelas germinadas sem estresse salino, quando passaram a ser irrigadas com água de  $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ , condutividade elétrica esta que chega a ser o dobro de algumas amostras analisadas em poços rasos localizados no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

No manejo da irrigação recomenda-se adicionar um percentual de 10 a 15% à lâmina requerida pela cultura com o propósito de provocar uma lixiviação a um possível acúmulo de sais na zona radicular dos cultivos, principalmente tendo-se em vista que a irrigação por microaspersão é por demais adequada a esta prática. Há de se considerar ainda que este sistema de irrigação se adéque melhor a solos com baixa capacidade de retenção dos materiais da camada superficial, e com um manejo da irrigação bem controlado dificilmente se desenvolveria pressões osmóticas muito fortes no final do período de irrigação. Ademais, as recargas naturais no período chuvoso seriam suficientes para promover uma completa lixiviação dos sais acumulados.

A classificação das águas de irrigação com respeito à RAS se baseia essencialmente no efeito do sódio trocável nas condições físicas do solo causando problemas de infiltração pela redução da condutividade hidráulica. Para se avaliar melhor o potencial da água de irrigação em criar problemas de infiltração, os valores da RAS contidos na Tabela 16 devem ser substituídos pelos valores da RAS corrigida.

Conforme Suarez (1981), este novo procedimento oferece melhor compreensão das modificações do cálcio na água do solo, que dão lugar ao aumento de seu teor, provocado pela dissolução do cálcio dos carbonatos e silicatos, ou sua diminuição ocasionada pela precipitação do cálcio em forma de carbonato.

De acordo com as diretrizes para interpretar a qualidade da água de irrigação e os respectivos valores de RAS corrigida (4,8) e CE da água (1,43), referente ao poço C<sub>6</sub>, com maior valor de RAS, a mesma não apresenta riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água (AYERS & WESTCOT, 1991). Vale ressaltar, ainda, que as diretrizes referem-se, sobretudo aos efeitos em longo prazo da qualidade da água, tendo um caráter prático e, portanto tendo sido utilizadas com êxito na agricultura irrigada.

As diretrizes aqui apresentadas são aplicáveis também para irrigação localizada, ressaltando-se, porém, que deve se levar em conta a qualidade da água do ponto de vista de possíveis entupimentos de emissores, sendo dessa forma necessária a inclusão de mais alguns parâmetros.

Dentre os parâmetros químicos, os sólidos totais dissolvidos ( $1540 \text{ mg L}^{-1}$ ), com maior valor para o poço raso F6, apresenta grau de restrição de uso moderado quanto à influência da qualidade da água no surgimento de problemas de obstrução em sistemas de irrigação localizada. As obstruções causadas pelas precipitações químicas de materiais como o carbonato e o sulfato de cálcio produzem-se gradualmente e, portanto, são mais difíceis de localizar. As altas temperaturas e os valores altos de pH favorecem a precipitação química, a qual se origina por excesso de carbonatos ou sulfatos de Ca ou Mg, ou pela oxidação de Fe para formar um precipitado férrico insolúvel de cor marrom avermelhado.

No momento, a experiência adquirida não permite determinar com precisão, os problemas de obstrução dos sistemas de irrigação localizada; no entanto, escalas de valores relativos para identificar as situações problemáticas têm sido utilizadas com sucesso. Quanto aos valores de pH da água, as amostras analisadas não apresentaram nenhum grau de restrição ao uso.

#### **4.4 Capacidade de área a ser irrigada por poço tubular**

As áreas irrigadas individuais dos agricultores irrigantes do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, também conhecidas popularmente como “lotes agrícolas”, são da ordem de quatro hectares. De acordo com o Cetrede (2009), 98,2% destas áreas estão ocupadas com as culturas do coqueiro e da bananeira, sendo que um lote padrão apresenta a ocupação com 2,5 hectares de coqueiro e 1,5 hectares de bananeira.

No requerimento mensal de água das culturas do coqueiro e da bananeira considerou-se o período de franca produção, estabelecendo-se o seguinte procedimento:

Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ): Calculada através do método de Penman-Monteith. Os dados de entrada para o cálculo de  $ET_0$  foram obtidos de uma série histórica relativa ao período 1970–1998, conforme Tabela 17, procedente da Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental Vale do Curu, localizada em área contígua ao Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

Tabela 17 - Evapotranspiração de referência, em mm dia-1, obtida pelo método de Penman Monteith / FAO (1991), relativo ao período de 1970 a 1998.

Mês	ETo (Penman-Monteith)
	mm dia <sup>-1</sup>
Janeiro	6,15
Fevereiro	5,33
Março	4,14
Abril	4,14
Mai	4,28
Junho	4,61
Julho	5,21
Agosto	6,85
Setembro	7,83
Outubro	7,97
Novembro	7,77
Dezembro	7,27

Fonte: Castro *et al.* (2007).

Os coeficientes de cultivo (Kc) foram tomados como referência valores relativos ao estágio de pleno desenvolvimento (Tabela 18).

Tabela 18 – Coeficientes de cultivo das culturas da bananeira e do coqueiro.

Culturas	Coefficiente de cultivo (Kc)
Bananeira	1,10
Coqueiro	1,00

Fonte: Allen *et al.* (1998)

O cálculo da evapotranspiração da cultura (ETc) foi obtida através da expressão  $ETc = ETo \cdot Kc$ . Tendo em vista a pouca magnitude das precipitações no período de julho a dezembro, período das irrigações, considerou-se a evapotranspiração das culturas como representativa da necessidade de irrigação (NI), ou seja; desprezaram-se as precipitações efetivas.

Na Tabela 19 são apresentados os valores relativos aos requerimentos diários de irrigação ou lâminas líquidas (mm) para as culturas do coqueiro e da bananeira. Já as lâminas brutas diárias de irrigação (Lb) foram calculadas através da relação necessidade de irrigação por eficiência de aplicação (TABELA 20). No cálculo considerou-se uma eficiência de aplicação de 90%.

Tabela 19 - Necessidade diária de água (mm) ou lâminas líquidas para as culturas do coqueiro e da bananeira em Pentecoste, Ceará.

Meses	Bananeira	Coqueiro
Janeiro	6,77	6,15
Fevereiro	5,86	5,33
Março	4,55	4,14
Abril	4,55	4,14
Maio	4,71	4,28
Junho	5,07	4,61
Julho	5,73	5,21
Agosto	7,54	6,85
Setembro	8,61	7,83
Outubro	8,77	7,97
Novembro	8,55	7,77
Dezembro	8,00	7,27

Fonte: Castro *et al.* (2007).

Os dados demonstram ser o mês de outubro o mais crítico e ao se considerar a cultura da bananeira, que apresenta para o respectivo mês a demanda bruta de água da ordem de 9,74 mm, ou seja;  $1,13 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  verifica-se que este valor corresponde ao valor de referência utilizado em projetos de irrigação localizada. Cabe destacar que no referido cálculo não se utilizou o coeficiente de redução de evapotranspiração (Kr), tendo em vista a elevada cobertura vegetal do solo proporcionada por estas culturas quando no estágio de franca produção.

As áreas destinadas a pequenos produtores dos Perímetros Irrigados Baixo Acaraú e Tabuleiros de Russas, no Estado do Ceará, por exemplo, foram projetados com vazão contínua ou unitária da ordem  $1,15 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$  valor este que corresponde a uma lâmina diária de irrigação de 9,94 mm.

Tabela 20 - Lâminas brutas diárias de irrigação (mm) para as culturas do coqueiro e da bananeira em Pentecoste, Ceará.

Meses	Bananeira	Coqueiro
Janeiro	7,52	6,83
Fevereiro	6,51	5,92
Março	5,06	4,60
Abril	5,06	4,60
Maio	5,23	4,76
Junho	5,63	5,12
Julho	6,37	5,79
Agosto	8,37	7,61
Setembro	9,57	8,70
Outubro	9,74	8,86
Novembro	9,50	8,63
Dezembro	8,89	8,08

Fonte: Castro *et al.* (2007).

Na Tabela 21 são apresentados os valores de áreas (ha) com as culturas do coqueiro ou da bananeira, capazes de serem irrigadas por cada um dos poços, considerando o cenário de jornada de trabalho com irrigação de 12 horas diárias prevalecente no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste. O valor de área foi obtido pela relação entre a vazão do poço e o valor correspondente de vazão contínua ou unitária.

Há de se considerar, no entanto, que o valor de área representa uma jornada de 24 horas pelo fato de se ter utilizado o conceito de vazão contínua. Portanto, a área a ser irrigada corresponde à metade deste valor, tendo em vista uma jornada diária de irrigação de 12 horas.

É fácil verificar que para uma necessidade diária de irrigação de 9,74 mm, ou seja;  $97,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e um poço com vazão de  $4,58 \text{ L s}^{-1}$ , que corresponde ao poço do Sr. Raimundo Madeira, tem-se um volume bombeado em 12 horas correspondente a  $197,8 \text{ m}^3$ . Ao se relacionar este valor de volume de água bombeada com o volume por unidade de área corresponde à demanda crítica ( $97,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), tem-se exatamente a área com capacidade a ser irrigada pelo referido poço, que corresponde a 2,0 hectares.

Os resultados demonstram que dos poços analisados, 45% apresentam atualmente, capacidade para irrigar com folga sua área padrão que é de 4,0 hectares.

Tabela 21 – Capacidade máxima de área a ser irrigada por poço tubular para uma jornada diária de irrigação de 12 horas .

Proprietário	Setor	Vazão do poço ( $\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$ )	Área a irrigar (ha)
Raimundo Madeira	C	16,5	2,0
Armando Gomes	C	11,9	1,5
Luiz Raimundo Filho	C	25,9	3,2
Adelino Barbosa	C	4,8	0,6
Bento de Oliveira Castro	C	33,9	4,2
Antônio Goes	D	68,0	8,4
Amaro da Silva Rodrigues	D	63,0	7,7
Pedro Baião	F	33,4	4,1
Raimundo Soares	F	4,5	0,6
Edivandro	F	13,6	1,7
José Maria	F	111,9	13,8

#### 4.5 Reservas permanentes do aquífero

No aquífero livre a reserva permanente corresponde ao volume invariável da formação em condições de saturação, ou seja, é o volume de água armazenada na camada aquífera limitada na base pelo substrato impermeável e no topo da superfície potenciométrica mínima (GOMES, 2005 *apud* MOURA, 2008).

Assim, a reserva permanente do aquífero é calculada através do produto da área, espessura e porosidade efetiva do aquífero. Considerou-se uma espessura do aquífero de 3,76m, sendo este o valor correspondente à média da carga hidráulica mensurada nos poços em estudo, subtraído o valor de 1m, o qual é a medida da camada sedimentar com material argiloso percebido no perfil litológico de 4 poços. Tendo em vista a área da aluvião do PICP correspondente a  $14.630.400 \text{ m}^2$  e porosidade efetiva de 17,4%, tem-se uma reserva permanente do aluvião do Rio Curu equivalente a  $9,57 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Considerando que a demanda bruta para irrigação é de 17.824 m<sup>3</sup> ha, como citado por Castro et. al. (2007), as reservas permanentes teriam capacidade de suprir a necessidade hídrica para irrigação de uma área com 537 ha cultivada com coqueiro ou bananeira. Porém, para um bombeamento seguro desta água, seria requerido uma coluna d'água com ao menos 0,50 m, assim, com esta coluna d'água de segurança, as reservas supririam a demanda de 465,6 ha por um período de 6 meses.

#### 4.6 Superfície potenciométrica

Na Tabela 22 constam as informações relativas aos 15 poços rasos utilizados para a elaboração da rede de fluxo d'água (isohypsas) e do mapa de isolinhas de profundidade do lençol freático (isóbatas), localizados nos setores hidráulicos C, D e F do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste.

Tabela 22 – Coordenadas UTM e potencial total de água no solo dos poços rasos.

Poços	Proprietário	Coord. E	Coord. N	Cota S.S. (m)	N.E. (m)	Cota do lençol freático (m)
P-C1	Raimundo Madeira	466344	9580996	36,18	2,92	33,26
P-C2	Armando Gomes	463916	9580125	42,81	2,49	40,32
P-C3	Luiz Raimundo	464215	9579545	38,95	2,61	36,34
P-C4	José Mauro	466323	9580797	36,78	2,77	34,01
P-C5	Adelino Barbosa	464594	9579927	39,02	2,86	36,16
P-D1	Joaquim Castro	465638	9580211	39,19	3,98	35,21
P-D2	Antonio Goes	467296	9581795	35,48	2,80	32,68
P-D3	Fco Édio	466434	9580764	38,01	3,91	34,10
P-D4	Amaro da Silva	467156	9581739	36,14	2,86	33,28
P-F1	Pedro Baião	467594	9582053	36,69	3,79	32,89
P-F3	Manoel de Souza	467174	9581875	36,01	3,17	32,85
P-F4	Maria de Sousa	468092	9582290	35,11	3,49	31,63
P-F5	Raimundo Madeira	467054	9581806	34,56	0,85	33,71
P-F6	Edivandro	468910	9583775	35,24	3,67	31,57
P-F7	José Bred	468861	9584124	31,64	2,60	29,04

SS: Superfície do solo; NE: nível estático.

Na Figura 21 se visualiza o mapa da rede de fluxo d'água, obtido a partir de informações de níveis da água no dia 08/05/2014. De acordo com dados da Estação Agrometeorológica do CCA/UFC, localizada estrategicamente na área que foi realizada esta pesquisa, tem-se um registro de 429 mm referente ao total acumulado de chuvas para o ano de 2014 até a data em que foram medidos os níveis freáticos.

Cabe destacar que na rede de fluxo, as informações sobre as equipotenciais e linhas de fluxo, permitiram o cálculo dos gradientes hidráulicos, sentido do fluxo subterrâneo, das regiões de recarga e de descarga, além da estimativa do fluxo subterrâneo.

Os valores de cotas dos níveis de água subterrânea, que representam os potenciais totais de água no solo, correspondem aos valores de altitudes dos níveis freáticos, porquanto o referencial gravitacional corresponde à altitude medida com GPS geodésico na superfície do solo junto aos poços, permitiu que se obtivesse a altitude correspondente ao nível freático através da subtração do nível estático da água em cada poço tubular.

As linhas equipotenciais, que representam as linhas com o mesmo potencial total de água no solo estão representadas com equidistância vertical de 1,0 m, sendo, portanto esta a diferença de nível entre duas curvas consecutivas. Verifica-se uma amplitude em torno de 10,0 m entre as curvas equipotenciais mais distantes, cuja distância horizontal de 6,22 km, confere um gradiente hidráulico médio de 0,16% por ocasião da medida dos níveis d'água.

A pequena inclinação do lençol freático permitiu que o cálculo do gradiente hidráulico fosse realizado pela própria declividade do lençol freático, tendo em vista que na prática a distância horizontal que separa as linhas equipotenciais 39,0 m e 29,0 m não difere da distância correspondente à linha potenciométrica entre estas equipotenciais.

A conformação das curvas equipotenciais geradas a partir dos níveis freáticos nesta data não apresenta, no geral, claras relações do rio com o aquífero, seja funcionando como fonte de descarga ou como fonte de recarga deste para o aquífero, muito embora, na região com maiores valores de potenciais totais verifique-se uma tendência do rio funcionar como fonte de drenagem das terras à margem esquerda e como fonte de recarga das terras localizadas à margem direita.

Os valores de gradientes hidráulicos medidos entre o Rio Curu e dois poços tubulares localizados às margens do rio, cujos valores foram de 0,21% e 0,05% corrobora nesta perspectiva. Ademais, o Rio Curu é perenizado pelas águas do açude General Sampaio somente até a barragem de derivação Sebastião de Abreu (Serrota), sendo que a partir desta, o Rio Curu drena as águas provenientes do excesso da irrigação por superfície do Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, o qual vem passando por problemas de disponibilidade de água para irrigação nestes últimos dois anos, culminando recentemente com o total colapso do sistema.

Os gradientes hidráulicos médios apresentam um decréscimo à medida que se distancia da barragem de derivação da Serrota, ou seja, dos setores hidráulicos A e B, conferindo uma relação forte de predominância do fluxo subterrâneo no mesmo sentido do fluxo superficial. Verificam-se maiores valores de gradientes hidráulicos (0,52%), traduzidos pelas maiores proximidades das curvas equipotenciais, na região próxima à barragem de derivação, podendo tal fato ter relação com solos de menor condutividade hidráulica na região

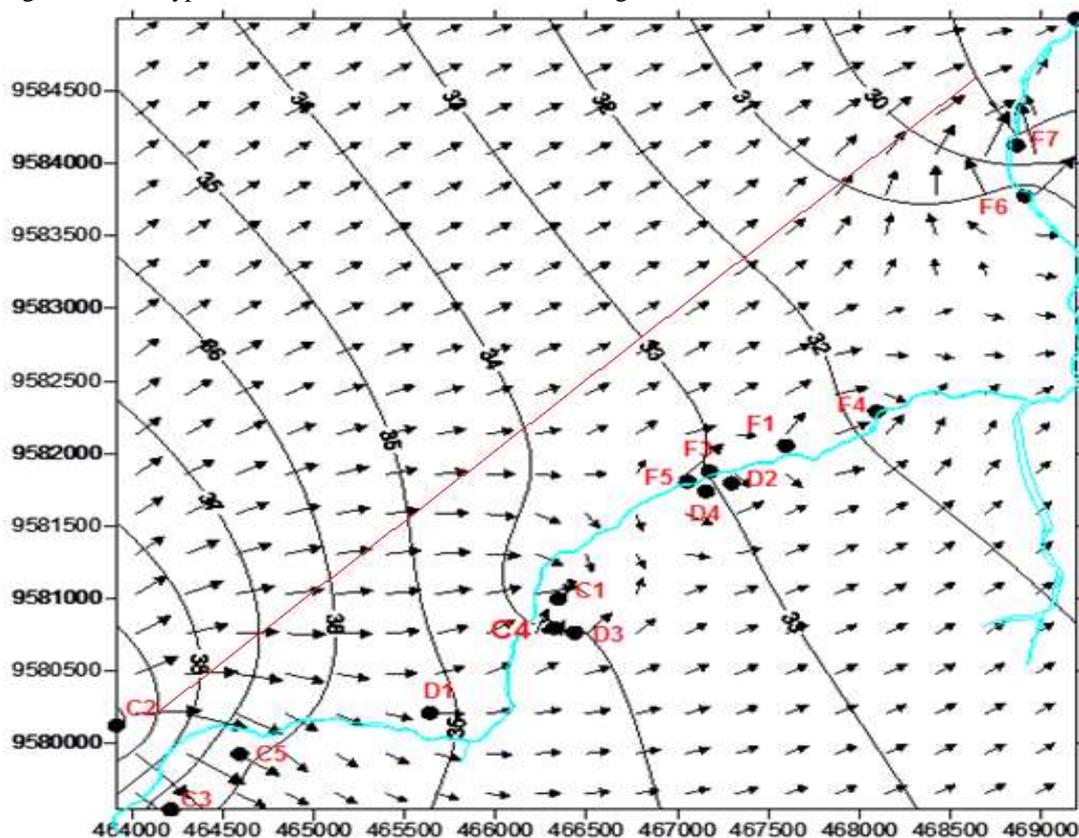
compreendida entre as curvas equipotenciais 39,0 m e 36,0 m, como é o caso do poço C5, cuja condutividade hidráulica medida pelo método do poço foi de  $2,63 \text{ m dia}^{-1}$ .

Verifica-se, ainda, uma concentração de poços rasos tubulares coincidentes com as linhas equipotenciais 33,0 m e 34,0 m, correspondente a quase 50% dos poços estudados, os quais se localizam numa região de baixo gradiente hidráulico (0,78%) e, portanto, propícia em termos de transmissividade hidráulica, em razão da capacidade de transmissão de água no solo, como é o caso dos poços rasos D2 e D4, com condutividades hidráulicas da ordem de  $30 \text{ m dia}^{-1}$ .

De acordo com Pizarro (1985), em geral, zonas de pequenos gradientes hidráulicos (curvas de nível espaçadas) apresentam elevada permeabilidade e ao contrário, gradientes hidráulicos fortes (curvas de nível próximas) correspondem a terrenos pouco permeáveis.

As isolinhas de profundidade do lençol freático representadas na Figura 21 indicam para níveis mais superficiais à margem esquerda do Rio Curu, sendo o sentido de fluxo das águas subterrâneas, o mesmo das águas superficiais.

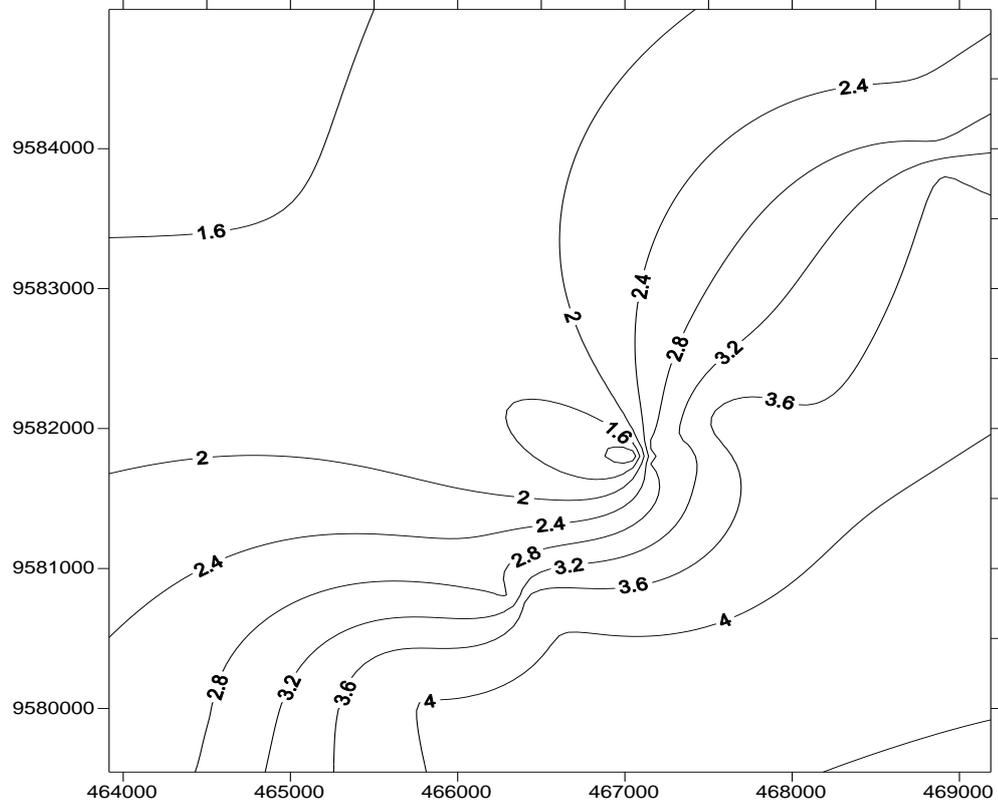
Figura 21 - Isohypsas ou isolinhas das cotas do nível da água.



Fonte: A autora.

A conformação das curvas de isoprofundidade (Figura 22) não guarda relação com as equipotenciais e seu uso para a indicação do sentido de fluxo acarretaria um erro grosseiro.

Figura 22 Isóbatas ou isolinhas de profundidade do lençol freático, PICP.



Fonte: A autora.

## 5 CONCLUSÕES

A elevada variabilidade nos valores de vazão dos poços rasos, traduzida pelo elevado coeficiente de variação (94,4%) é inerente às características de variabilidade das camadas constituintes dos solos aluviais. A vazão média relativa aos poços avaliados ( $35,2 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) proporciona suporte para irrigação de todos os “lotes agrícolas” avaliados com uma jornada diária de trabalho de 12 horas;

Apesar das elevadas correlações entre vazão e os atributos hidrodinâmicos do solo, condutividade hidráulica e transmissividade, a estimativa de vazão através destas variáveis, embora salutar em razão da redução de custos e tempo para a realização dos testes de bombeamento, não é recomendável para as condições da presente pesquisa, tendo em vista a possibilidade de elevados valores de erros relativos para algumas faixas de condutividade hidráulica e de transmissividade;

A qualidade de água subterrânea não apresenta limitações de ordem física e/ou química para fins de irrigação dos principais cultivos no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, sobretudo considerando o sistema de aplicação da água de irrigação a ser praticado, microaspersão, e as eficiências previstas, com pouca significação como fonte de recarga do aquífero.

A redução temporal das vazões de distribuição de água para os canais principais e, portanto, das vazões de retorno para o Rio Curu através dos drenos e da descarga subterrânea são os principais responsáveis pela conformação das curvas equipotenciais geradas a partir dos níveis freáticos, as quais sugerem não existir no geral claras relações do rio com o aquífero.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A.; **Horizonte temporal da recomposição dos investimentos com a recuperação do passivo ambiental de solos degradados por sais no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, ceará.** 2013 (Qualificação de Doutorado). Fortaleza, UFC 2013.
- ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements.** Rome: FAO, 1998. 297.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade de água na agricultura.** 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1, Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/T0234E01.htm#ch1.2.1>> Acesso em: 27 de agosto de 2014.
- BRASIL, Ministério do Meio-Ambiente. Agência Nacional de Águas (ANA) **Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil.** Brasília, 2007.  
Disponível em: < <http://www.ana.gov.br/sprtew/recursoshidricos.asp> > Acesso em: 06 de ago. de 2013.
- BRASIL, Ministério do Meio-Ambiente. Agência Nacional de Águas(ANA). Cadernos de recursos hídricos 1 **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil,** Brasília, 2005
- BARBOSA JÚNIOR, A. R. Elementos de Hidrologia Aplicada, 2013.
- BURTE, J. D. P. **Os pequenos aquíferos nas áreas cristalinas semi-áridas: Funcionamento e estratégias de gestão. Estudo de caso no Nordeste brasileiro.**Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.
- BURTE, J. D. P.; SCHRADER, G. O. **Relatório parcial das atividades – Projeto Pingo D’água,** Municipal de Quixeramobim – CE. Julho – 1999.
- CASTRO, R. P.; COSTA, R. N. T.; SILVA, L. A. C.; GOMES FILHO, R. R. Modelos de decisão para otimização econômica do uso da água em áreas irrigadas da Fazenda Experimental Vale do Curu, Pentecoste – CE. **Irriga,** Botucatu, v. 12, n.3, p. 377-392, 2007.
- CEARÁ. **Caderno Regional da Bacia do Curu -** Fortaleza – CEARÁ, 2009. Disponível em: <http://www.srh.ce.gov.br/index.php/projetos-especiais/pacto-das-aguas> Acesso em: 10 de julho de 2013.
- CEARÁ. Secretaria de Recursos Hídricos. **Atlas eletrônico dos recursos hídricos do Ceará.** Disponível em:< <http://atlas.srh.ce.gov.br/bacias/2.php>>  
Acesso em: 17 de julho de 2013a.
- CEARÁ. Portal Hidrológico do Ceará - **Volume armazenado dos reservatórios.** Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/>> Acesso em: Agosto de 2014.

CEARÁ. **Secretaria de Recursos Hídricos**. Evaporação e a falta de chuvas reduzem nível de água dos açudes cearenses. Disponível em: <<http://www.srh.ce.gov.br/index.php/component/content/article/18-ultimas-noticias/474-evaporacao-e-a-falta-de-chuvas-reduzem-nivel-de-agua-dos-acudes-cearenses>> Publicado em: 03 de abril de 2013. Acesso em: 17 de julho de 2013c.

CBH CURU. **Comitê de Bacias Hidrográficas do Curu**. Disponível em: <<http://www.cbhcuru.com.br/conheca/>> Acesso em: 17 de julho de 2013.

CETREDE. **Agricultores Familiares dos Perímetros Irrigados Públicos Federais nos Estados do CE, PI, MA, PB, PE e BA**. 4º Relatório de andamento. Centro de Treinamento e Desenvolvimento – ATER. Fortaleza, 2009. 236p.

COMPANHIA DE PESQUISA E RECURSOS MINERAIS (CPRM), **Caracterização Hidrogeológica dos Aquíferos - RN** –Outubro- 2007  
Disponível em: <[www.cprm.gov.br/publique/media/jatoba\\_meta\\_C.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/jatoba_meta_C.pdf)>  
Acesso em: 15 jul. de 2013.

CORDEIRO, G. G. **Qualidade de água para fins de irrigação** (Conceitos básicos e práticas)/Gilberto Gomes Cordeiro. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2001.32 p.; il.; 21 cm - (Embrapa Semi-Árido. Documentos; 167) ISSN 1516-1633.

CORRÊA, R. A. L. **Evapotranspiração e coeficiente de cultura em dois ciclos de produção do maracujazeiro amarelo**. 2004. Dissertação (Mestrado em agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

COSTA, R. N. T. **Drenagem Agrícola** (Apostila), Centro de Ciências Agrárias, Fortaleza, 2008a.

COSTA, R. N. T. Modelos de decisão para incremento sustentável na produtividade líquida da água na perspectiva da autogestão do Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste. Projeto de pesquisa - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

COUTO, L., SANS, L. M. A. **Requerimento de água das culturas**. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento - Circular Técnica 20, Minas Gerais, 2002.

CRUCIANI, D.E.; Godoy, R. **Estudos do lençol freático em problemas de drenagem**. Revista de Agricultura, 115-126, 1981.

CRUCIANI, D.E. **A drenagem na agricultura**. 4 ed. São Paulo, Nobel, 1989. 337p.

CUSTODIO, E. e LLAMAS, M. R., **Hidrologia Subterrânea**. Ediciones Omega S.A.,Barcelona,1157p. 1996.

DNOCS. **Perímetro Irrigado Curu - Recuperação - Plano de Ação Global**, Vol. I-A, 1993.

DNOCS, **Perímetro Irrigado Curu Pentecoste**. Disponível em: <[http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros\\_irrigados/ce/curu\\_pentecoste.html](http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/ce/curu_pentecoste.html)>  
Acesso em: 15 jul. de 2013.

FARIA, R. A. *et al.* **Economia de água e energia em projetos de irrigação suplementar no Estado de Minas Gerais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.6,n.2. Campina Grande, PB,DEAg/UFCG, 2002.

FEITOSA, F. A. C., MANOEL FILHO, J. **HIDROGEOLOGIA – Conceitos e Aplicações CPRM.** 2000. 2a. Ed. paginação irregular 391p.

FRIZZONE, J. A., **Eficiência da irrigação e produtividade da água: Possibilidades técnicas e econômicas.** São Paulo: ESALQ/USP, 2010.

GONDIM, R. S. *et al.* **Mudanças climáticas e impactos na necessidade hídrica das culturas perenes na Bacia do Jaguaribe, no Estado do Ceará.** Pesq. agropec. bras. [online]. 2008, vol.43, n.12, pp. 1657-1664. ISSN 0100-204X.

JOHNSON DIVISION, **Água subterrânea e poços tubulares;** tradução da primeira edição do original norte-americano, **Groundwater and Wells,** publicado pela UOP Johnson Division. Saint Paul. 2ªed. Ver. São Paulo, CETESB, 1974.

LOPES, A. P. **Mudanças climáticas globais e estresses abióticos em sementes e plântulas de abóbora.** Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Universidade do Estado da Bahia, Juazeiro, 2012.

MAIA, J. T. V. **Caracterização Hidrogeológica do Aluvião do rio Banabuiú – Ceará.** 2010. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Centro de Ciências - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

MARINHO, F. J. L.; Ferreira Neto, M.; Gheyi, H. R.; Fernandes, P. D.; Viana, S. B. A. Uso de água salina na irrigação do coqueiro (*Cocos nucifera* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, Suplemento, p.359-364, 2005a.

MELO, C. A. C. **Diagnóstico de solos degradados por sais no Perímetro Irrigado Curu Pentecoste, Ceará.** Monografia (Graduação em Agronomia)- Centro de Ciências Agrárias - Departamento de Engenharia Agrícola - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

MENEZES, R. E. Reunião do Comitê da Bacia Hidrográfica do Curu, **Companhia de Gestão de Recursos Hídricos** - Cogerh, 2014. Disponível em em: <http://portal.cogerh.com.br/noticias/reuniao-do-comite-da-bacia-hidrograficas-do-curu> < Acesso em : 10 de agosto de 2014.

MÖBUS, G. Teste de bombeamento para avaliação da capacidade de produção de poço tubular para água mineral. Apostila curso técnico - Departamento de produção mineral-DNPM, Fortaleza, 2007.

MOURA, I. B. M. **Aspectos hidrogeológicos do Aluvião do rio Banabuiú no trecho entre Morada Nova e Limoeiro do Norte-CE.** 2008. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MOURA, I.B.M. **Estudos das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú no Trecho entre Quixeramobim e Banabuiú - Ceará, Brasil.** Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

OLIVEIRA, L. A. & CAMPOS, J. E. G. **Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Bauru na Região de Araguari/MG: Fundamentos para a gestão do Sistema de abastecimento de água.** Revista Brasileira de Geociências, Volume 34, 2004.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água.** Seropédica, RJ, p.191, 2004.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos.** Fortaleza; SUDENE/DNOCS, p466. 1985.

RICHARDS, L. A. (ed). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.** Washington DC, US Department of Agriculture, 1954. 160 p. (USDA Agricultural Handbook, 60), 1954.

SANTOS, M. D. S. **Rendimento da abóbora sob dois métodos de irrigação, duas qualidades de água e diferentes níveis de potássio.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SILVA, I. N., FONTES, L. O., TAVELLA, L. B., OLIVEIRA, J. B., OLIVEIRA, A. C., **Qualidade de água na irrigação,** revista Agropecuária Científica no Semi-Árido, UFCG – Patos – PB. ISSN 1808-6845 v.07, n 03 julho/setembro 2011 Disponível em: <<http://150.165.111.246/ojs-patos/index.php/ACSA/article/viewFile/134/pdf>> Acesso em: 14 de ago. de 2013.

SUAREZ, D. L. **Relation between pHe and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage waters.** Soil Science Society America Journal, v.45, p.469-75, 1981.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2007. cap. 2, p. 253-287.

VASCONCELOS, S.M.S. **Recarga do aquífero dunas/paleodunas, Fortaleza-CE.** Tese de Doutorado, USP, 1999. São Paulo, 100p.

# APÊNDICES

**APÊNDICE A - RESULTADOS DO TESTE DE PRODUÇÃO DO TIPO ESCALONADO -  
POÇO C1**

Poço	Localização	Município	Coordenadas UTM	Data do teste
C1	Núcleo C - PICP	Pentecoste	466344/9580996	11/12/2013
Proprietário	Profundidade (m)	NE (m)	Altura da boca (m)	Coluna d'água (m)
Rdo Madeira Albuquerque	8,33	2,73	0,17	5,6

Tabela A1 - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço C1.

Nível estático NE (m)	Vazão Q (m³ h⁻¹)	Nível dinâmico ND (m)	Rebaixamento Sw (m)	Sw/Q	CE = Q/Sw m³ h⁻¹ m
2,73	2,193	3,075	0,345	0,15732	6,36
	8,78	4,355	1,625	0,18508	5,4
	10,43	4,81	2,08	0,19942	5,014

CE = Capacidade específica do poço.

Gráfico A1 - Curva Sw/Q = f(Q)

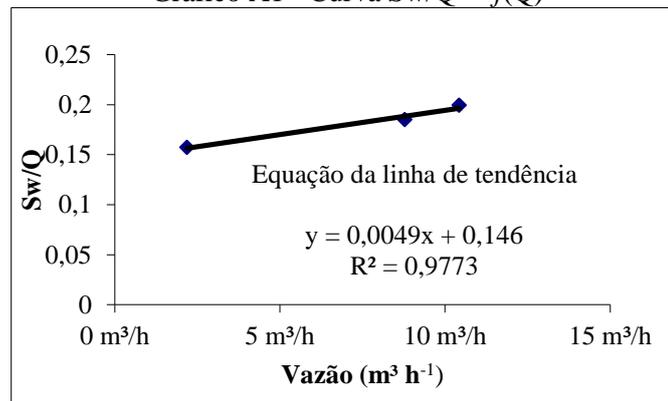
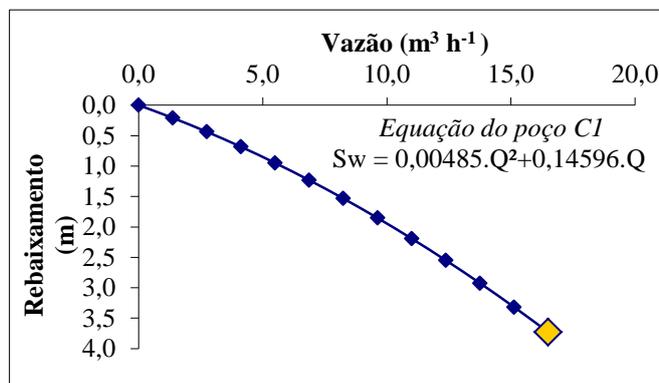


Tabela A2 - Dados da construção do curva  $Q = f(Sw)$  e nível dinâmico.

Q (m³ h⁻¹)	Sw (m)	ND(m)
0,0	0,0	2,7
1,4	0,2	2,9
2,8	0,4	3,2
4,1	0,7	3,4
5,5	1,0	3,7
6,9	1,2	4,0
8,3	1,5	4,3
9,6	1,9	4,6
11,0	2,2	4,9
12,4	2,6	5,3
13,8	2,9	5,7
15,1	3,3	6,0
16,5	3,7	6,5

Gráfico A2 - Curva de evolução simulada do rebaixamento Sw em função da vazão Q - poço



C1.

■ Vazão máxima de exploração.

**APÊNDICE B - RESULTADOS DO TESTE DE PRODUÇÃO DO TIPO ESCALONADO -  
POÇO C2**

Poço	Localização	Município	Coordenadas UTM's	Data do teste
C2	Núcleo C - PSCP	Pentecoste	463816/9580125	30/10/2013
Proprietário	Profundidade total (m)	NE (m)	Altura da boca (m)	Coluna d'água(m)
Armando Gomes Soares	7,27	1,41	0,17	5,86

Tabela B1 - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço C2

Nível estático NE (m)	Vazão Q (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	Nível dinâmico ND (m)	Rebaixamento Sw (m)	Sw/Q	CE = Q/Sw m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> m
1,41	2,4	2,03	0,62	0,15732	3,87
	5,71	3,03	1,62	0,18508	3,52
	9,23	4,25	2,84	0,19942	3,25

CE = Capacidade específica do poço.

Gráfico B1: Curva Sw/Q = f(Q)

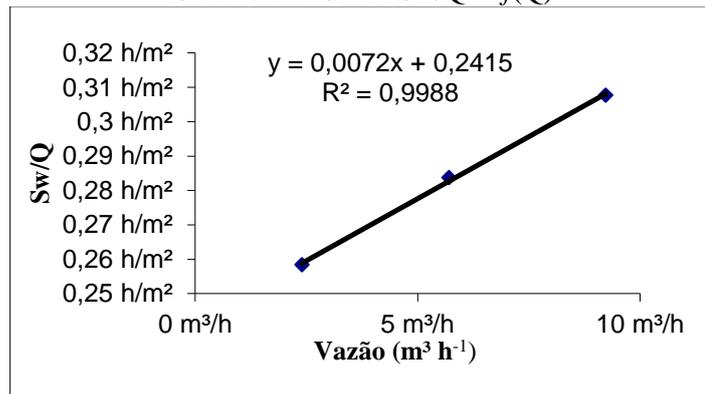
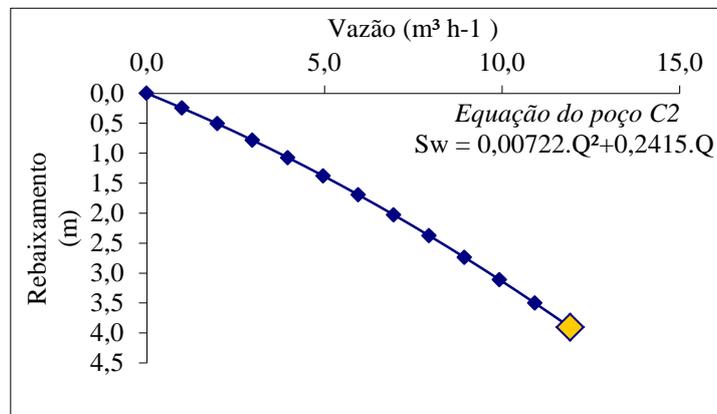


Tabela B2 - Dados da construção do curva Q = f(Sw) e nível dinâmico.

Q (m <sup>3</sup> h)	Sw (m)	ND(m)
0,0	0,0	1,41
1,0	0,2	1,66
2,0	0,5	1,92
3,0	0,8	2,19
4,0	1,1	2,48
5,0	1,4	2,79
6,0	1,7	3,11
7,0	2,0	3,44
7,9	2,4	3,79
8,9	2,7	4,15
9,9	3,1	4,52
10,9	3,5	4,91
11,9	3,9	5,32

Gráfico B2 - Evolução simulada do rebaixamento Sw em função da vazão Q - poço C2.



■ Vazão máxima de exploração

**APÊNDICE C - RESULTADOS DO TESTE DE PRODUÇÃO DO TIPO ESCALONADO -  
POÇO C3**

Poço	Localização	Município	Coordenadas UTM's	Data do teste
C3	Núcleo C - PSCP	Pentecoste	464214/9579545	22/07/2014
Proprietário	Profundidade total (m)	NE (m)	Altura da boca (m)	Coluna d'água(m)
Luiz Raimundo Filho	6,37	3,45	0,52	2,92

Tabela C1 - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço C3.

Nível estático NE (m)	Vazão Q (m³/s)	Nível dinâmico ND (m)	Rebaixamento Sw (m)	Sw/Q	CE = Q/Sw m³ h⁻¹ m
3,45 m	8,3	3,81	0,36	0,04337	23,05
	13,26	4,14	0,69	0,05204	19,22
	16,7	4,43	0,98	0,05868	17,04

CE = Capacidade específica do poço.

Gráfico C1- Curva  $Sw/Q = f(Q)$  do poço C3.

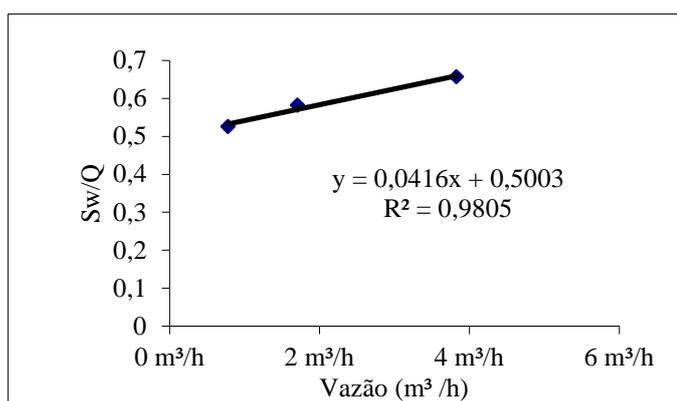
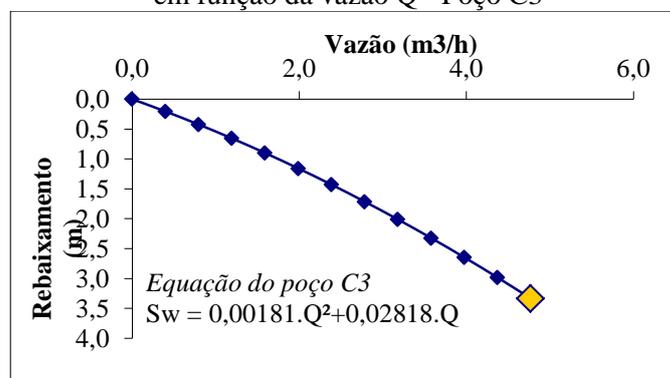


Tabela C2 - Dados da construção do curva  $Q = f(Sw)$  e nível dinâmico - Poço C3.

Q (m³ h)	Sw (m)	ND(m)
0,0	0,0	3,5
2,2	0,1	3,5
4,3	0,2	3,6
6,5	0,3	3,7
8,6	0,4	3,8
10,8	0,5	4,0
12,9	0,7	4,1
15,1	0,8	4,3
17,3	1,0	4,5
19,4	1,2	4,7
21,6	1,4	4,9
23,7	1,7	5,1
<b>25,9</b>	1,9	5,4

Gráfico C2 - Evolução simulada do rebaixamento Sw em função da vazão Q - Poço C3



■ Vazão máxima de exploração.

**APÊNDICE D - RESULTADOS DO TESTE DE PRODUÇÃO DO TIPO ESCALONADO -  
POÇO C5**

Poço	Localização	Município	Coordenadas UTM's	Data do teste
C5	Núcleo C - PICP	Pentecoste	464594/9570027	19/12/2013
Proprietário	Profundidade total (m)	NE (m)	Altura da boca (m)	Coluna d'água(m)
Adelino Barosa de Sousa	7,77	2,77	0,63	5

Tabela D1 - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço C5.

Nível estático NE (m)	Vazão Q (m³/s)	Nível dinâmico ND (m)	Rebaixamento Sw (m)	Sw/Q	CE = Q/Sw m³ h⁻¹ m
2,77 m	0,78	3,175	0,41	0,52564	1,9
	1,71	3,76	0,995	0,58187	1,72
	3,83	5,28	2,515	0,65666	1,52

CE= Capacidade específica.

Gráfico D1 - Curva  $Sw/Q = f(Q)$  do poço C5.

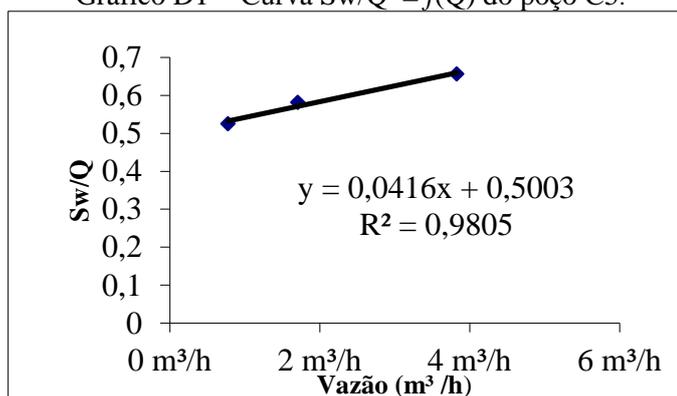
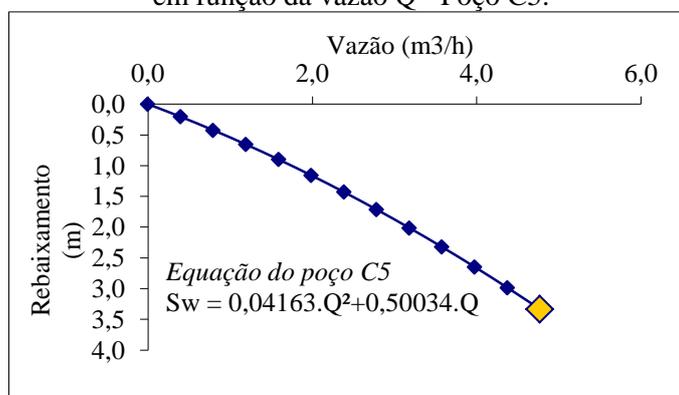


Tabela D2 - Dados da construção do curva  $Q = f(Sw)$  e nível dinâmico - Poço C5.

Q (m³ h⁻¹)	Sw (m)	ND(m)
0,0	0,0	2,8
0,4	0,2	3,0
0,8	0,4	3,2
1,2	0,7	3,4
1,6	0,9	3,7
2,0	1,2	3,9
2,4	1,4	4,2
2,8	1,7	4,5
3,2	2,0	4,8
3,6	2,3	5,1
4,0	2,6	5,4
4,4	3,0	5,8
4,8	3,3	6,1

Gráfico D2 - Evolução simulada do rebaixamento Sw em função da vazão Q - Poço C5.



■ Vazão máxima de exploração.

**APÊNDICE E - RESULTADOS DO TESTE DE PRODUÇÃO DO TIPO ESCALONADO -  
POÇO C6**

Poço	Localização	Município	Coordenadas UTM's	Data do teste
C6	Núcleo C - PSCP	Pentecoste	464129E/9570432N	16/07/2014
Proprietário	Profundidade total (m)	NE (m)	Altura da boca (m)	Coluna d'água(m)
Bento de Oliveira Castro	9,02	4,43	0,67	4,59

Tabela E1 - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço C6.

Nível estático NE (m)	Vazão Q (m³/s)	Nível dinâmico ND (m)	Rebaixamento Sw (m)	Sw/Q	CE = Q/Sw m³ h⁻¹ m
4,43 m	7,9	4,595	0,165	0,02089	47,87
	11,3	4,79	0,36	0,03186	31,38
	13,52	4,91	0,48	0,0355	28,16

Gráfico E1 - Curva  $S_w/Q = f(Q)$  do poço C6.

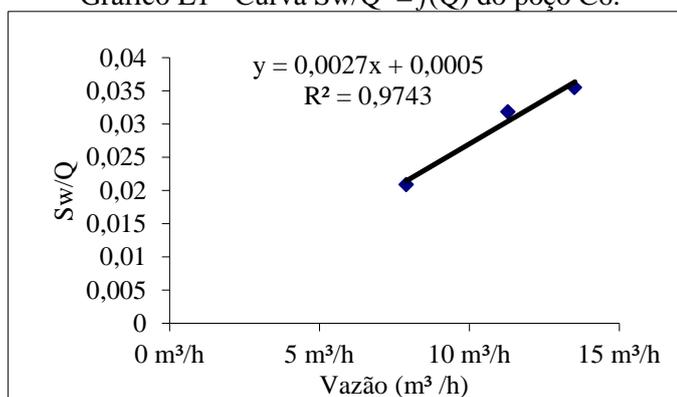
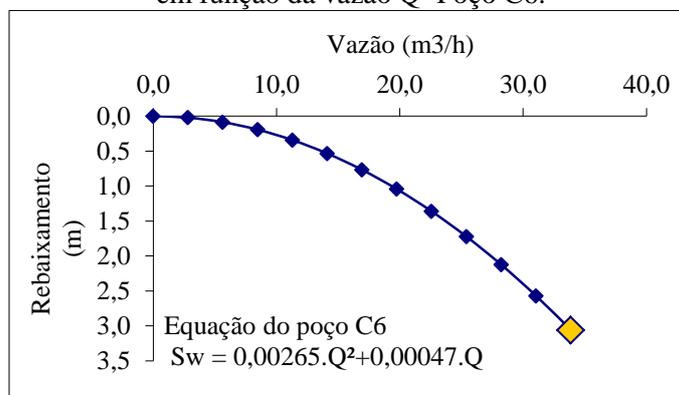


Tabela E2 - Dados da construção do curva  $Q = f(S_w)$  e nível dinâmico - Poço C6.

Q (m³ h)	Sw (m)	ND(m)
0,0	0,0	4,4
2,8	0,0	4,5
5,6	0,1	4,5
8,5	0,2	4,6
11,3	0,3	4,8
14,1	0,5	5,0
16,9	0,8	5,2
19,8	1,0	5,5
22,6	1,4	5,8
25,4	1,7	6,2
28,2	2,1	6,6
31,0	2,6	7,0
<b>33,9</b>	3,1	7,5

■ Vazão máxima de exploração.

Gráfico E2 - Evolução simulada do rebaixamento Sw em função da vazão Q- Poço C6.



**APÊNDICE F - RESULTADOS DO TESTE DE PRODUÇÃO DO TIPO ESCALONADO -  
POÇO D2**

Poço	Localização	Município	Coordenadas UTM's	Data do teste
D2	Núcleo D - PICIP	Pentecoste	4672962/9581795	31/07/2014
Proprietário	Profundidade total (m)	NE (m)	Altura da boca (m)	Coluna d'água(m)
Antonio Goes	8,825	3,965	0,60	4,86

Tabela F1 - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço D2.

Nível estático NE (m)	Vazão Q (m³/s)	Nível dinâmico ND (m)	Rebaixamento Sw (m)	Sw/Q	CE = Q/Sw m³ h <sup>-1</sup> m
3,97 m	17,1	4,42	0,455	0,02661	37,6
	20	4,51	0,545	0,02725	36,7
	23,04	4,635	0,67	0,02908	34,4

Gráfico F1- Curva  $S_w/Q = f(Q)$  do poço D2.

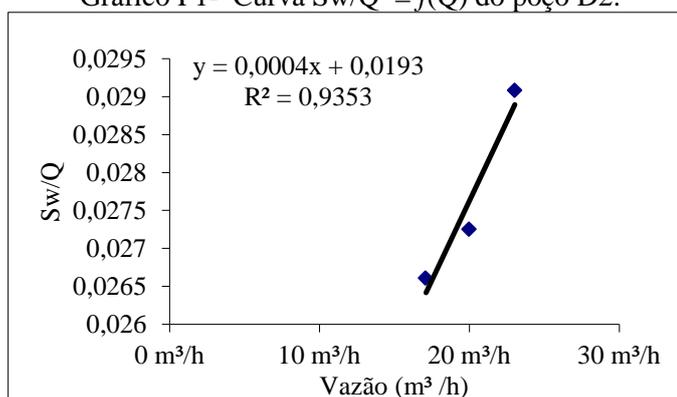
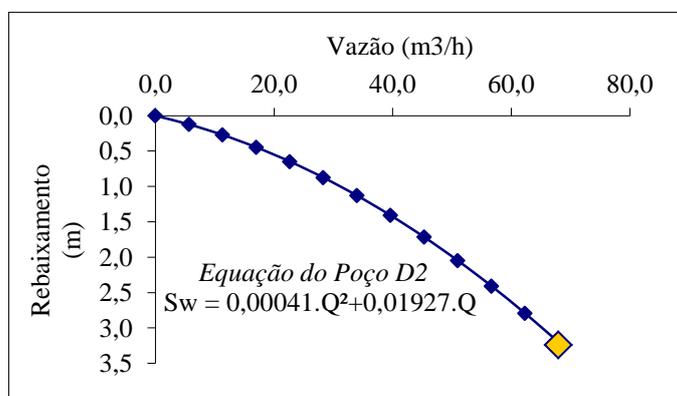


Tabela F2 - Dados da construção do curva  $Q = f(S_w)$  e nível dinâmico - Poço D2

Q (m³ h)	Sw (m)	ND(m)
0,0	0,0	4,0
5,7	0,1	4,1
11,3	0,3	4,2
17,0	0,4	4,4
22,7	0,6	4,6
28,3	0,9	4,8
34,0	1,1	5,1
39,7	1,4	5,4
45,3	1,7	5,7
51,0	2,0	6,0
56,6	2,4	6,4
62,3	2,8	6,8
<b>68,0</b>	3,2	7,2

■ Vazão máxima de exploração.

Gráfico F2 - Evolução simulada do rebaixamento Sw em função da vazão Q- Poço D2.



**APÊNDICE G - RESULTADOS DO TESTE DE PRODUÇÃO DO TIPO ESCALONADO -  
POÇO D4**

Poço	Localização	Município	Coordenadas UTM's	Data do teste
D4	Núcleo D - PICIP	Pentecoste	4671555/9581739	01/08/2014
Proprietário	Profundidade total (m)	NE (m)	Altura da boca (m)	Coluna d'água(m)
Amaro da Silva	8,48	3,86	0,33	4,62

Tabela G1 - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço D4.

Nível estático NE (m)	Vazão Q (m³/s)	Nível dinâmico ND (m)	Rebaixamento Sw (m)	Sw/Q	CE = Q/Sw m³ h⁻¹ m
3,86 m	16,5	4,44	0,58	0,03515	28,44
	22,3	4,66	0,8	0,03587	27,9
	24,4	4,785	0,925	0,03791	26,4

CE= Capacidade específica do poço.

Gráfico G1- Curva Sw/Q = f(Q) do poço D4.

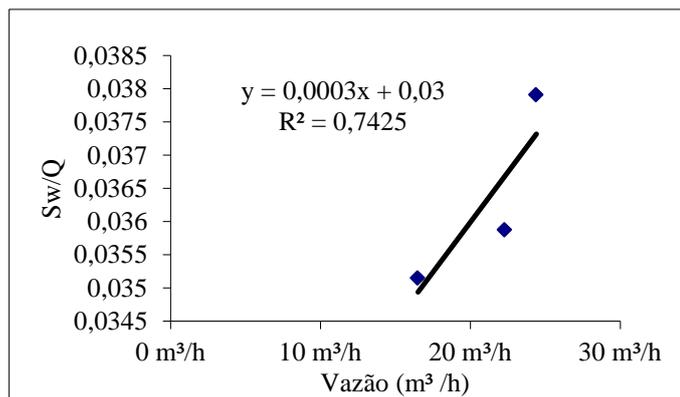
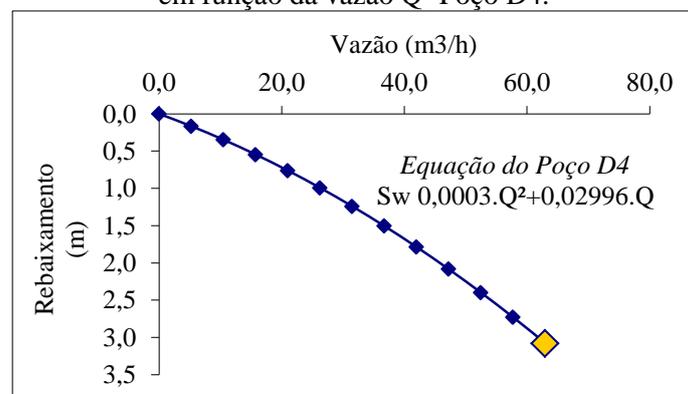


Tabela G2 - Dados da construção do curva  $Q = f(Sw)$  e nível dinâmico - Poço D4.

Gráfico G2 - Evolução simulada do rebaixamento Sw em função da vazão Q- Poço D4.

Q (m³ h)	Sw (m)	ND(m)
0,0	0,0	3,9
5,2	0,2	4,0
10,5	0,3	4,2
15,7	0,5	4,4
21,0	0,8	4,6
26,2	1,0	4,9
31,5	1,2	5,1
36,7	1,5	5,4
42,0	1,8	5,6
47,2	2,1	5,9
52,5	2,4	6,3
57,7	2,7	6,6
<b>63,0</b>	3,1	6,9



■ Vazão máxima de exploração.

**APÊNDICE H - RESULTADOS DO TESTE DE PRODUÇÃO DO TIPO ESCALONADO -  
POÇO F1**

Poço	Localização	Município	Coordenadas UTM's	Data do teste
F1	Núcleo F - PICIP	Pentecoste	4675943/9582053	29/07/2014
Proprietário	Profundidade total (m)	NE (m)	Altura da boca (m)	Coluna d'água(m)
Pedro Baião	9,46	5,076	0,76	4,384

Tabela H1 - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço F1.

Nível estático NE (m)	Vazão Q (m³/s)	Nível dinâmico ND (m)	Rebaixamento Sw (m)	Sw/Q	CE = Q/Sw m³ h⁻¹ m
5,08 m	3,1	5,196	0,12	0,03871	25,83
	13,3	5,836	0,76	0,05714	17,5
	14,7	5,896	0,82	0,05578	17,9

CE = Capacidade específica

Gráfico H1- Curva  $Sw/Q = f(Q)$  do poço F1.

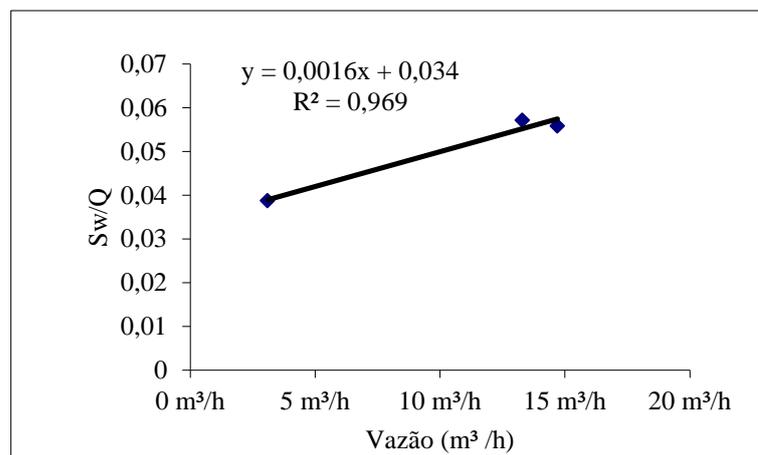
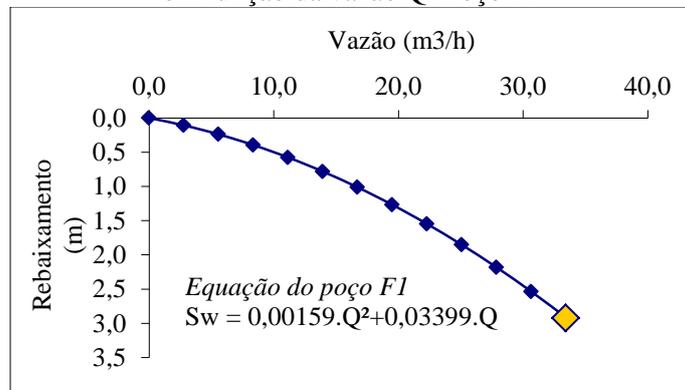


Tabela H1 - Dados da construção do curva  $Q = f(Sw)$  e nível dinâmico - Poço F1.

Q (m³ h⁻¹)	Sw (m)	ND(m)
0,0	0,0	5,1
2,8	0,1	5,2
5,6	0,2	5,3
8,4	0,4	5,5
11,1	0,6	5,7
13,9	0,8	5,9
16,7	1,0	6,1
19,5	1,3	6,3
22,3	1,5	6,6
25,1	1,9	6,9
27,9	2,2	7,3
30,7	2,5	7,6
33,4	2,9	8,0

Gráfico H2 - Evolução simulada do rebaixamento Sw em função da vazão Q- Poço F1



■ Vazão máxima de exploração.

**APÊNDICE I - RESULTADOS DO TESTE DE PRODUÇÃO DO TIPO ESCALONADO -  
POÇO F6**

Poço	Localização	Município	Coordenadas UTM's	Data do teste
F6	Núcleo F - PICIP	Pentecoste	4689101/9583775	30/07/2014
Proprietário	Profundidade total (m)	NE (m)	Altura da boca (m)	Coluna d'água(m)
Edivandro	9,38	4,74	0,74	4,64

Tabela 1I - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço F6.

Nível estático NE (m)	Vazão Q (m³/s)	Nível dinâmico ND (m)	Rebaixamento Sw (m)	Sw/Q	CE = Q/Sw m³ h⁻¹ m
4,64 m	3,3	4,97	0,33	0,1	10
	3,8	5,055	0,415	0,10921	9,15
	4,3	5,125	0,485	0,11279	8,86

CE = Capacidade específica.

Gráfico 1I - Curva  $Sw/Q = f(Q)$  do poço F6.

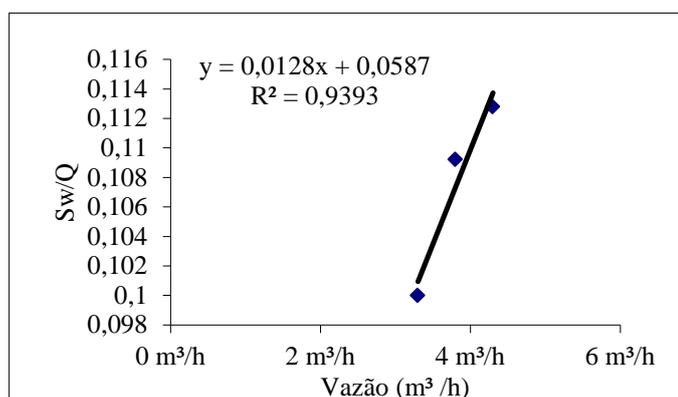
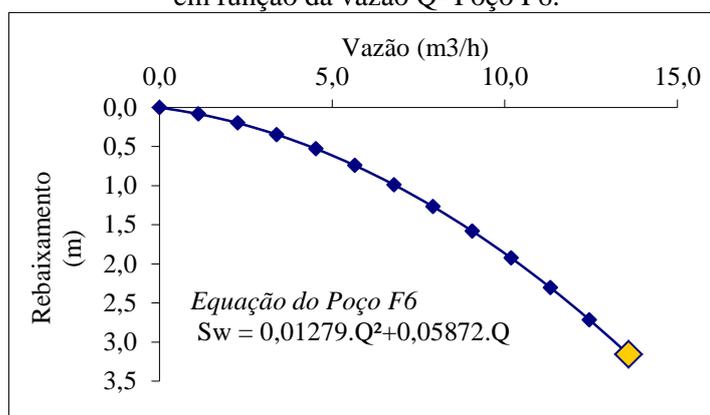


Tabela 2I - Dados da construção do curva  $Q = f(Sw)$  e nível dinâmico - Poço F6.

Q (m³ h⁻¹)	Sw (m)	ND(m)
0,0	0,0	4,6
1,1	0,1	4,7
2,3	0,2	4,8
3,4	0,3	5,0
4,5	0,5	5,2
5,7	0,7	5,4
6,8	1,0	5,6
7,9	1,3	5,9
9,1	1,6	6,2
10,2	1,9	6,6
11,3	2,3	6,9
12,5	2,7	7,4
13,6	3,2	7,8

Gráfico 2I - Evolução simulada do rebaixamento Sw em função da vazão Q- Poço F6.



■ Vazão máxima de exploração.

**APÊNDICE J - RESULTADOS DO TESTE DE PRODUÇÃO DO TIPO ESCALONADO -  
POÇO F7**

Poço	Localização	Município	Coordenadas UTM's	Data do teste
F7	Núcleo F - PICP	Pentecoste	4688613/9584124	01/08/2014
Proprietário	Profundidade total (m)	NE (m)	Altura da boca (m)	Coluna d'água(m)
José Maria/Breude	9,216	3,746	0,9	5,47

Tabela J1 - Teste de produção escalonado: medidas das vazões e dos níveis de rebaixamento após estabilização - Poço F7.

Nível estático NE (m)	Vazão Q (m³/s)	Nível dinâmico ND (m)	Rebaixamento Sw (m)	Sw/Q	CE = Q/Sw m³ h⁻¹ m
3,75 m	11,13	3,986	0,24	0,02157	46,37
	14,54	4,065	0,32	0,02194	45,4
	12,62	4,02	0,274	0,02172	46,06

CE= Capacidade específica do poço.

Gráfico J1 - Linha de tendência  $S_w/Q = f(Q)$  do poço F7.

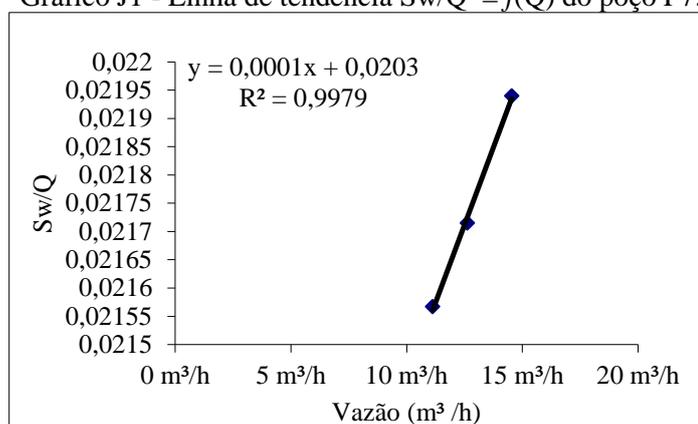
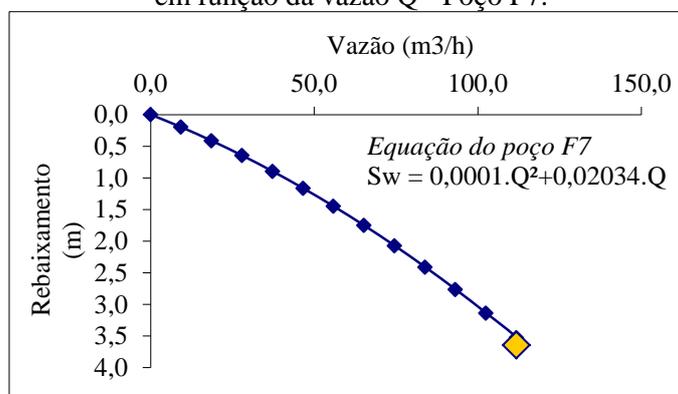


Tabela J2 - Dados da construção do curva  $Q = f(S_w)$  e nível dinâmico - Poço F7.

Q (m³ h⁻¹)	Sw (m)	ND(m)
0,0	0,0	3,7
9,3	0,2	3,9
18,6	0,4	4,2
28,0	0,6	4,4
37,3	0,9	4,6
46,6	1,2	4,9
55,9	1,5	5,2
65,3	1,8	5,5
74,6	2,1	5,8
83,9	2,4	6,2
93,2	2,8	6,5
102,6	3,1	6,9
<b>111,9</b>	3,5	7,3

Gráfico J2 - Evolução simulada do rebaixamento Sw em função da vazão Q - Poço F7.



■ Vazão máxima de exploração.

# **ANEXOS**

## ANEXO A - FICHA TÉCNICA, POÇO C1 - NÚCLEO C DO PICP.

CBS: CORDENATE A CTE  
BOWUNTO

**ESTADO DO CEARÁ**  
SECRETARIA DA AGRICULTURA IRRIGADA – SEAGRI  
PROJETO CAMINHOS DE ISRAEL - POÇOS DO SERTÃO

**PERFIL INDIVIDUAL DE CONSTRUÇÃO DE POÇO A TRADO**

CIDADE: Pentecoste		LOCALIDADE: Lote B -13 Setor 7		REGIÃO: 02	PROPRIETÁRIO: Raimundo Madeira Albuquerque Filho		TÉCNICO: Manoel Wilson Eufrazio Gomes	
POÇO No. PT 04	COTA 74 m	PROFUND. FINAL (m) 8,00 m	NÍVEL D' ÁGUA 3,20 m	VAZÃO m <sup>3</sup> /h 27,2	NÍVEL ESTÁTICO (m) 3,65	NÍVEL DINÂMICO (m <sup>3</sup> ) 5,40	COND. ELÉTRICA (CE μ S) 1500	COORDENADAS: X: 0466386 Y: 9581039
UNIDADE LITOLÓGICA	ESCALA DE PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA				PERFIL CONSTRUTIVO	
Aluvião		1	SOLO ARGILOSO ARENOSO					
"		2						
"		3	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO MÉDIA					
"	NA →	4						
"		5	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA COM SEIXOS PEQUENOS					
"		6						
"		7						
"		8						
"		9						
"		10						
TÉCNICO REGIONAL: <b>Rogério Monteiro</b>		MEDIDOR DE VAZÃO: Tambor de 200 lts			ALTURA DA BOCA DO POÇO: 0,45			
		EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO: Motor de 3,5cv						
LEGENDA:		TUBO: 3,65 m						
		FILTRO: 4,80 m			VISTO DO COORD. ESTADUAL: Ademar Távora			
OBSERVAÇÕES: O poço foi fechado devido a sua salinidade que estava aumentando à medida que ia se aprofundando. Não foi possível chegar até o embasamento cristalino.								
ALUVIÃO DO RIO: Curu					INÍCIO: 11/03/02		TÉRMINO: 16/03/02	

Fonte: Secretaria de Agricultura Irrigada -SEAGRI.

## ANEXO B - FICHA TÉCNICA, POÇO C2 - NÚCLEO C DO PICP.

ESTADO DO CEARÁ									
SECRETARIA DA AGRICULTURA IRRIGADA – SEAGRI									
PROJETO CAMINHOS DE ISRAEL - POÇOS DO SERTÃO									
PERFIL INDIVIDUAL DE CONSTRUÇÃO DE POÇO A TRADO									
CIDADE: Pentecoste		LOCALIDADE: Lote F5 Setor 5		REGIÃO: 02		PROPRIETÁRIO: Joaquim Soares dos Santos		TÉCNICO: Manoel Vilson Eufrasio Gomes	
POÇO No. PT 02	COTA 74 m	PROFUND. FINAL (m) 6,80 m	NÍVEL D' ÁGUA 0,80 m	VAZÃO m <sup>3</sup> /h 17,5	NÍVEL ESTÁTICO (m) 1,40	NÍVEL DINÂMICO (m <sup>3</sup> ) 2,50	COND. ELÉTRICA (CE µ S) 1200	COORDENADAS: X: <del>958016</del> 046395 Y: <del>958016</del> 958016	
UNIDADE LITOLÓGICA	ESCALA DE PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA					PERFIL CONSTRUTIVO	
Aluviãc	NA →	1	SOLO ARENO ARGILOSO						
"		2							
"		3							
"		4							
"		5							
"		6							
"		7							
"		8							
"		9							
"		10							
TÉCNICO REGIONAL: Rogério Monteiro		MEDIDOR DE VAZÃO: Tambor 200 lts			ALTURA DA BOCA DO POÇO: 0,60				
LEGENDA:		TUBO: 1,40 m			EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO: Motor 3,5 cv				
		FILTRO: 6,00 m			VISTO DO COORD. ESTADUAL: Nilton Costa				
OBSERVAÇÕES: Não foi possível chegar até o embasamento cristalino, porque sua salinidade estava aumentando.									
ALUVIÃO DO RIO: Curu					INÍCIO: 26/02/02		TÉRMINO: 01/03/02		

Fonte: Secretaria de Agricultura Irrigada -SEAGRI.

## ANEXO C - FICHA TÉCNICA, POÇO C5 - NÚCLEO D DO PICP.



## ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DA AGRICULTURA IRRIGADA – SEAGRI  
PROJETO CAMINHOS DE ISRAEL - POÇOS DO SERTÃO

PERFIL INDIVIDUAL DE CONSTRUÇÃO DE POÇO A TRADO												
CIDADE: Pentecoste.		LOCALIDADE: Lote 1 D P.A.T		REGIÃO: 02	PROPRIETÁRIO: Adefino Barbosa de Sousa		TÉCNICO: Manoel Vilson Eufrasio Gomes					
POÇO No. PT 07.	COTA 62 m	PROFUND. FINAL (m) 8,00m	NÍVEL D' ÁGUA 2,00 m	VAZÃO m <sup>3</sup> /h 18	NÍVEL ESTÁTICO (m) 2,50	NÍVEL DINÂMICO (m <sup>3</sup> ) 6,20	COND. ELÉTRICA (CE μ S) 1600	COORDENADAS: X: 0464630 Y: 9579964				
UNIDADE LITOLÓGICA	ESCALA DE PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA				PERFIL CONSTRUTIVO					
Aluvião		1	SOLO ARGILOSO									
"	NA	2										
"		3										
"		4										
"		5							SOLO ARENOSO GRANULAÇÃO FINA			
"		6							SOLO ARGILOSO DE COLORAÇÃO VERDE (SALÃO)			
"		7							SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA			
"		8										
EMBASAMENTO CRISTALINO		9										
"		10										
TÉCNICO REGIONAL: <b>Rogério Monteiro</b>		MEDIDOR DE VAZÃO: Tambor de 200 lts			ALTURA DA BOCA DO POÇO: 0,60							
		EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO: Motor de 3,5cv										
LEGENDA:		TUBO: 2,60 m										
		FILTRO: 6,00 m			VISTO DO COORD. ESTADUAL: Ademar Távora							
OBSERVAÇÕES:												
ALUVIÃO DO RIO: Curu					INÍCIO: 02/04/02		TÉRMINO: 09/04/02					

Fonte: Secretaria de Agricultura Irrigada -SEAGRI.

## ANEXO D - FICHA TÉCNICA, POÇO D1 - NÚCLEO D DO PICP.



## ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DA AGRICULTURA IRRIGADA – SEAGRI

PROJETO CAMINHOS DE ISRAEL - POÇOS DO SERTÃO

PERFIL INDIVIDUAL DE CONSTRUÇÃO DE POÇO A TRADO								
CIDADE: Pentecoste		LOCALIDADE: Lote B -09 P.A.T		REGIÃO: 02	PROPRIETÁRIO: Joaquim Castro Alves		TÉCNICO: Manoel Wilson Eufrasio Gomes	
POÇO No. PT 05	COTA 78 m	PROFUND. FINAL (m) 8,30 m	NÍVEL D' ÁGUA 3,00 m	VAZÃO m <sup>3</sup> /h	NÍVEL ESTÁTICO (m)	NÍVEL DINÂMICO (m <sup>3</sup> )	COND. ELÉTRICA (CE μ S) 1630	COORDENADAS: X: 0485679 Y: 9580252
UNIDADE LITOLÓGICA	ESCALA DE PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA				PERFIL CONSTRUTIVO	
Aluvião		1	SOLO ARENOSO ARGILOSO					
"		2						
"	NA	3	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO FINA					
"		4	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA COM SEIXOS PEQUENOS E GRANDES					
"		5						
"		6						
"		7						
"		8						
"		9						
"		10						
TÉCNICO REGIONAL: <b>Rogério Monteiro</b>		MEDIDOR DE VAZÃO: Tambor de 200 lts			ALTURA DA BOCA DO POÇO: 0,45			
EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO: Motor de 3,5cv								
LEGENDA:								
		TUBO: 3,45 m			FILTRO: 5,30 m			
VISTO DO COORD. ESTADUAL: Ademar Távora								
OBSERVAÇÕES:								
ALUVIÃO DO RIO: Curu					INÍCIO: 20/03/02		TÉRMINO: 27/03/02	

Fonte: Secretaria de Agricultura Irrigada -SEAGRI.

## ANEXO E - FICHA TÉCNICA, POÇO ATERRADO - NÚCLEO D DO PICP.

ESTADO DO CEARÁ									
SECRETARIA DA AGRICULTURA IRRIGADA – SEAGRI									
PROJETO CAMINHOS DE ISRAEL - POÇOS DO SERTÃO									
PERFIL INDIVIDUAL DE CONSTRUÇÃO DE POÇO A TRADO									
CIDADE: Pentecoste		LOCALIDADE: Lote B -17 P.A.T		REGIÃO: 02	PROPRIETÁRIO: Bento Firmiano Menezes			TÉCNICO: Manoel Wilson Eufrasio Gomes	
POÇO No. PT 06	COTA 62 m	PROFUND. FINAL (m) 10,00m	NÍVEL D'ÁGUA 3,00 m	VAZÃO m <sup>3</sup> /h 43	NÍVEL ESTÁTICO (m) 3,50	NÍVEL DINÂMICO (m <sup>2</sup> ) 4,80	COND. ELÉTRICA (CE μ S) 1700	COORDENADAS: X: 0465364 Y: 9580274	
UNIDADE LITOLÓGICA	ESCALA DE PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA				PERFIL CONSTRUTIVO		
Aluvião		1	SOLO ARGILOSO						
"		2							
"	NA	3							
"		4							
"		5							
"		6							
"		7							
"		8							
"		9							
"		10							
EMBASAMENTO CRISTALINO			SOLO ARENOSO GRANULAÇÃO FINA						
			SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA COM SEIXO ROLADO MEDIO						
TÉCNICO REGIONAL: <b>Rogério Monteiro</b>		MEDIDOR DE VAZÃO: Tambor de 200 lts			ALTURA DA BOCA DO POÇO: 0,60				
		EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO: Motor de 3,5cv							
LEGENDA:		TUBO: 3,60 m							
		FILTRO: 7,00 m			VISTO DO COORD. ESTADUAL: Ademar Távora				
OBSERVAÇÕES:									
ALUVIÃO DO RIO: Curu					INÍCIO: 20/03/02		TÉRMINO: 25/03/02		

Fonte: Secretaria de Agricultura Irrigada -SEAGRI.

## ANEXO F - FICHA TÉCNICA, POÇO D2 - NÚCLEO D DO PICP.

ESTADO DO CEARÁ									
SECRETARIA DA AGRICULTURA IRRIGADA – SEAGRI									
PROJETO CAMINHOS DE ISRAEL - POÇOS DO SERTÃO									
PERFIL INDIVIDUAL DE CONSTRUÇÃO DE POÇO A TRADO									
CIDADE: Pentecoste		LOCALIDADE: Lote D –		REGIÃO: 02		PROPRIETÁRIO: Antônio Góes de Sousa		TÉCNICO: Manoel Vilson Eufrazio Gomes	
POÇO No. PT 09	COTA 84 m	PROFUND. FINAL (m) 8,50 m	NÍVEL D'ÁGUA 2,50 m	VAZÃO m <sup>3</sup> /h	NÍVEL ESTÁTICO (m)	NÍVEL DINÂMICO (m)	COND. ELÉTRICA (CE µ S) 1920	COORDENADAS: X: 0467328 Y: 9581870	
UNIDADE LITOLÓGICA	ESCALA DE PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA					PERFIL CONSTRUTIVO	
Aluvião		1	SOLO ARENO ARGILOSO						
"		2	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO FINA						
"	NA →	3							
"		4	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA						
"		5							
"		6							
"		7	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA COM SEIXO GRANDE						
"		8	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO FINA						
"		9	EMBASAMENTO CRISTALINO						
"		10							
TÉCNICO REGIONAL: <b>Rogério Monteiro</b>		MEDIDOR DE VAZÃO:			ALTURA DA BOCA DO POÇO: 0,60				
LEGENDA:		TUBO: 3,10 m			EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO:				
		FILTRO: 6,00 m			VISTO DO COORD. ESTADUAL: Ademar Távora				
OBSERVAÇÕES:									
ALUVIÃO DO RIO: Curu					INÍCIO: 22/04/02		TÉRMINO: 25/04/02		

Fonte: Secretaria de Agricultura Irrigada -SEAGRI.

## ANEXO G - FICHA TÉCNICA, POÇO D3 - NÚCLEO D DO PICP.

ESTADO DO CEARÁ									
SECRETARIA DA AGRICULTURA IRRIGADA – SEAGRI									
PROJETO CAMINHOS DE ISRAEL - POÇOS DO SERTÃO									
PERFIL INDIVIDUAL DE CONSTRUÇÃO DE POÇO A TRADO									
CIDADE: Pentecoste		LOCALIDADE: Lote B - 15		REGIÃO: 02		PROPRIETÁRIO: Alfredo Firmiano Teixeira		TÉCNICO: Manoel Wilson Eufrasio Gomes	
POÇO No. PT 08	COTA 56 m	PROFUND. FINAL (m) 6,00 m	NÍVEL D' ÁGUA 3,00 m	VAZÃO m <sup>3</sup> /h 16,8	NÍVEL ESTÁTICO (m) 3,60	NÍVEL DINÂMICO (m <sup>3</sup> ) 4,75	COND. ELÉTRICA (CE μ S) 1830	COORDENADAS: X: 0466468 Y: 9580804	
UNIDADE LITOLÓGICA	ESCALA DE PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA				PERFIL CONSTRUTIVO		
Aluvião		1	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA						
"		2							
"	NA	3							
"		4							
"		5							
"		6							
EMBASAMENTO CRISTALINO		7							
"		8							
"		9							
"		10							
TÉCNICO REGIONAL: <b>Rogério Monteiro</b>		MEDIDOR DE VAZÃO: Tambor de 200 lts			ALTURA DA BOCA DO POÇO: 0,60				
EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO: Motor de 3,5cv									
LEGENDA:		TUBO: 3,60 m							
		FILTRO: 3,00 m			VISTO DO COORD. ESTADUAL: Ademar Távora				
OBSERVAÇÕES:									
ALUVIÃO DO RIO: Curu					INÍCIO: 04/04/02		TÉRMINO: 15/04/02		

Fonte: Secretaria de Agricultura Irrigada -SEAGRI.

## ANEXO H - FICHA TÉCNICA, POÇO D4 - NÚCLEO D DO PICP.

ESTADO DO CEARÁ									
SECRETARIA DA AGRICULTURA IRRIGADA – SEAGRI									
PROJETO CAMINHOS DE ISRAEL - POÇOS DO SERTÃO									
PERFIL INDIVIDUAL DE CONSTRUÇÃO DE POÇO A TRADO									
CIDADE: Pentecoste		LOCALIDADE: Lote A - 21		REGIÃO: 02		PROPRIETÁRIO: Amado da Silva Rodrigues		TÉCNICO: Manoel Vilson Eufrazio Gomes	
POÇO No. PT10	COTA 62 m	PROFUND. FINAL (m) 8,50 m	NÍVEL D'ÁGUA 3,00 m	VAZÃO m <sup>3</sup> /h	NÍVEL ESTÁTICO (m)	NÍVEL DINÂMICO (m <sup>3</sup> )	COND. ELÉTRICA (CE µ S) 1462	COORDENADAS: X: 0467193 Y: 9581781	
UNIDADE LITOLÓGICA	ESCALA DE PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA				PERFIL CONSTRUTIVO		
Aluvião		1	SOLO ARENO ARGILOSO						
*		2							
*	NA	3	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA						
*		4							
*		5	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA COM SEIXO PEQUENO						
*		6							
*		7	SOLO ARGILOSO						
*		8							
		9	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA						
		10							
EMBASAMENTO CRISTALINO									
TÉCNICO REGIONAL: <b>Rogério Monteiro</b>			MEDIDOR DE VAZÃO:			ALTURA DA BOCA DO POÇO: 0,80			
			EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO:						
LEGENDA:		TUBO: 3,80 m							
		FILTRO: 5,60 m			VISTO DO COORD. ESTADUAL: Ademar Távora				
OBSERVAÇÕES:									
ALUVIÃO DO RIO: Curu					INÍCIO: 28/04/02		TÉRMINO: 02/05/02		

Fonte: Secretaria de Agricultura Irrigada -SEAGRI.

## ANEXO I - FICHA TÉCNICA, POÇO F3 - NÚCLEO F DO PICP.

ESTADO DO CEARÁ									
SECRETARIA DA AGRICULTURA IRRIGADA – SEAGRI									
PROJETO CAMINHOS DE ISRAEL - POÇOS DO SERTÃO									
PERFIL INDIVIDUAL DE CONSTRUÇÃO DE POÇO A TRADO									
CIDADE: Pentecoste		LOCALIDADE: Lote C – 06 Mancha 9		REGIÃO: 02		PROPRIETÁRIO: Manoel de Sousa Sampaio		TÉCNICO: Manoel Vilson Eufrasio Gomes	
POÇO No. PT11	COTA 70 m	PROFUND. FINAL (m) 9,00 m	NÍVEL D'ÁGUA 3,00 m	VAZÃO m <sup>3</sup> /h	NÍVEL ESTÁTICO (m)	NÍVEL DINÂMICO (m <sup>3</sup> )	COND. ELÉTRICA (CE μ S) 1800	COORDENADAS: X: 0467211 Y: 9581921	
UNIDADE LITOLÓGICA	ESCALA DE PROFUNDIDADE		DESCRIÇÃO LITOLÓGICA					PERFIL CONSTRUTIVO	
Aluvião		1	SOLO ARENO ARGILOSO						
"		2							
"		3	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO FINA						
"	NA	4							
"		5	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA						
"		6							
"		7	SOLO ARGILOSO (SALÃO)						
"		8							
"		9	SOLO ARENOSO DE GRANULAÇÃO GROSSA						
"		9							
EMBASAMENTO CRISTALINO		10							
TÉCNICO REGIONAL: Rogério Monteiro		MEDIDOR DE VAZÃO:			ALTURA DA BOCA DO POÇO: 1,00				
EQUIPAMENTO DE BOMBEAMENTO:									
LEGENDA:		TUBO: 4,00 m							
		FILTRO: 0,60 m			VISTO DO COORD. ESTADUAL: Ademar Távora				
OBSERVAÇÕES:									
ALUVIÃO DO RIO: Curu				INÍCIO: 06/05/02			TÉRMINO: 10/05/02		

Fonte: Secretaria de Agricultura Irrigada -SEAGRI.