

Universidade de São Paulo

Instituto de Geociências

RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO SEMIÁRIDO CEARENSE: ENTENDER
PARA AUMENTAR A RESILIÊNCIA DE SUA POPULAÇÃO RURAL. ESTUDO DE CASO
NOS MUNICÍPIOS DE ARNEIROZ, TAUÁ, CATARINA, SABOEIRO, AIUBA, PARAMBU

Monografia

TF-17/30

Aluno: Lucas Henrique de Carvalho

Orientador: Ricardo Hirata

Coorientadora: Daniela Barbati Osório

São Paulo

2017

RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO SEMIÁRIDO CEARENSE: ENTENDER
PARA AUMENTAR A RESILIÊNCIA DE SUA POPULAÇÃO RURAL. ESTUDO DE CASO
NOS MUNICÍPIOS DE ARNEIROZ, TAUÁ, CATARINA, SABOEIRO, AIUBA, PARAMBU

De acordo,

Aluno: Lucas Henrique de Carvalho



Orientador: Prof. Dr. Ricardo Hirata

Sumário

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	1
3. Justificativa	1
4. Área de Estudo	3
4.1 Geologia do Estado do Ceará.....	5
4.1.1 Coberturas Sedimentares Cenozoica	5
4.1.2 Bacias Sedimentares.....	5
4.1.3 Província Borborema	7
4.1.4 Neotectônica.....	14
4.2 Geomorfologia do Estado do Ceará.....	15
4.3 Hidrogeologia do Estado do Ceará	18
4.3.1 Aquífero Fissural.....	19
4.3.2 Aquífero Poroso	20
5. Materiais e Métodos	23
5.1 Revisão bibliográfica.....	23
5.2 Compilação do Mapa Geológico-Estrutural.....	23
5.3 Modelo Digital de Terreno.....	24
5.4 Tratamento de Dados Hidrogeológicos.....	25
6. Resultados.....	25
6.1 Área de estudo	25
6.2 Geomorfologia da área de estudo.....	26
6.3 Geologia da Área de Estudo	29
6.4 Análise de lineamentos.....	34
7. Interpretação e discussão dos resultados.....	37
7.1 Análise da produção de poços.....	37
7.1.1 Hidrogeologia e características hidráulicas do aquífero	37
7.1.2 Produção de poços segundo a litologia	38
7.1.3 Produção de poços segundo a topografia.....	39

7.1.4	Produção de poços segundo os lineamentos:.....	41
8.	Conclusões e recomendações	43
9.	Referências Bibliográficas	44

Índice de Figuras

Figura 4.1	Mapa do semiárido cearense.....	4
Figura 4.2	Mapa Geológico do Ceará (modificado)	10
Figura 4.3	Mapa Geomorfológico do Ceará	17
Figura 4.4	Principais maciços cristalinos do Mundo (Singhal e Gupta, 1999, apud Neves, 2005).	18
Figura 4.5	Mapa hidrogeológico do estado do Ceará.....	22
Figura 6.1	Localização da área de estudo englobando os municípios de interesse.	27
Figura 6.2	Modelo Digital de Terreno e a geomorfologia da área de estudo.	28
Figura 6.3	Mapa geológico da área de detalhe	31
Figura 6.4	Imagem Aérea da região de estudo.	33
Figura 6.5	Mapa de Lineamentos da Área de Detalhe.	35
Figura 6.6	Diagrama de Rosáceas com os valores de frequência (em porcentagem) estabelecidos no eixo X e semi-círculos do gráfico em um intervalo de cada barra é de 5° ..	36
Figura 6.7	Diagrama de Rosáceas com a frequência (porcentagem) de direção dos lineamentos baseados no comprimento acumulado (metros) de cada lineamento em um intervalo de 5°.....	37
Figura 7.1	Gráfico de frequência dos valores de capacidade específica ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$) nos poços da área de detalhe.....	38
Figura 7.2	Gráfico de capacidade específica na região de vale.	40
Figura 7.3	Gráfico de capacidade específica na região de vale.	41
Figura 7.4	Diagrama de Rosáceas das direções de lineamentos associadas aos valores de capacidade específica ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$)	43

Índice de Tabelas

Tabela 7.1	Valores estatísticos de capacidade específica na área de detalhe ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$).....	38
Tabela 7.2	Valores estatístico de capacidade específica para a região de vale.	40
Tabela 7.3	Valores estatístico de capacidade específica para a região de encosta.	40
Tabela 7.4	Valores estatísticos de capacidade específica ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$) para os 19 poços próximos aos lineamentos.....	42

RESUMO

A região do semiárido cearense tem um histórico de seca, que tem gerado impactos socioambientais e econômicos desde o período colonial. Essa região apresenta temperatura média anual de 28°C, valores de precipitação que atingem apenas 800mm/a e de evapotranspiração potencial entre 1400 a 2000mm/a, resultando em um balanço hídrico negativo. A geologia da região é conformada predominantemente por rochas do embasamento cristalino, nominalmente associadas à Província Borborema. Essa província foi descrita como uma área de amalgamento do supercontinente Gondwana, responsável por gerar um grande sistema deformacional e diversos dobramentos. Além disso, a região é marcada por zonas de cisalhamentos com direção preferencial NE-SW. Este Trabalho de Formatura teve como objetivo analisar a produtividade dos poços tubulares nos aquíferos cristalinos na área do semiárido do Ceará, nos municípios de Arneiroz, Tauá, Catarina, Saboeiro, Aiuba e Parambu, identificando os condicionantes litológicos, geomorfológicos e geológico-estruturais. A partir disso, uma área de detalhe foi estabelecida para tentar criar relações entre as feições geológicas e geomorfológicas junto aos valores de produtividade de poços alocados nessa região. A base cartográfica produzida dispõe de diferentes mapas temáticos criados a partir de dados de poços cadastrados no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e no Programa Água Doce (PAD). O principal resultado observado foi que não existem nítidas correlações entre a produtividade de poços e os condicionantes lito-estruturais e geomorfológicos. Entretanto, o estudo trouxe importantes informações sobre o funcionamento hidráulico dos aquíferos fissurais e sua associação com a geomorfologia e a geologia local.

ABSTRACT

The semi-arid region of Ceará has a history of drought, which has generated socio-environmental and economic impacts since the colonial period. This region presents an average annual temperature of 28°C, precipitation values lower than 800mm/a and potential evapotranspiration between 1400 and 2000mm/a, resulting in a negative water balance. The geology of the region is predominantly formed by rocks of the crystalline basement, nominally associated with the Borborema Province. This province was described as an area of amalgamation of the supercontinent Gondwana, responsible for generating a large deformation system and several folds. In addition, the region is marked by shear zones with preferred direction NE-SW. The aim of this study was to analyze the water tubular wells productivity in the crystalline aquifers in the semi-arid area of Ceará, in the municipalities of Arneiroz, Tauá, Catarina, Saboeiro, Aiuba and Parambu, identifying the lithological, geomorphological and geological-structural constraints. From this, an area of detail was established to establish the relationship between the geological and geomorphological features along with well production in this region. The cartographic base produced has different thematic maps constructed using data from the Ground Water Information System Database (SIAGAS) and in the Programa Água Doce (PAD). The main result was that there are no clear correlations between well productivity and litho-structural and geomorphological conditioners. However, the study provided important information on the hydraulic functioning of fissure aquifers and their association with geomorphology and local geology.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de “combate à seca” deu lugar a ideia de “convivência e adaptação aos períodos de estiagem prolongados”, sendo mais expressivo a partir do ano 2002. Assim, também se reconheceu que a solução de adaptação é uma soma de várias alternativas tecnológicas e que as suas aplicações são particulares à cada região e à cultura da população afetada.

Neste contexto, esse Trabalho de Formatura (TF) analisou a hidrogeologia dos aquíferos do semiárido do Ceará, a produtividade dos poços tubulares perfurados nos aquíferos cristalinos no município Arneiroz, Tauá, Catarina, Saboeiro, Aiuba e Parambu, realçando os condicionantes litológicos, estruturais, geomorfológicos na produção dos mesmos. Os dados acumulados do Programa Água Doce (PAD) e estudos preexistentes da área (localização e dados coletados de poços tubulares, mapas hidrogeológicos e informações geológico-estruturais da região) serão os principais meios para a elaboração deste TF.

Este trabalho está inserido no projeto *Aumento da Disponibilidade Hídrica e Sustentabilidade do Programa Água Doce – Estado do Ceará*, desenvolvido pelo Centro de Pesquisa de Águas Subterrâneas (CEPAS|USP) do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc/USP), que tem um acordo de cooperação com a Departamento de Revitalização de Bacias Hidrográficas e Acesso à Água da Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente.

2. OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo entender a hidrogeologia e a produtividade de poços tubulares perfurados nos aquíferos cristalinos em uma área inserida no semiárido do estado do Ceará, identificando os seus condicionantes geológico-estruturais, litológicos e geomorfológicos.

3. JUSTIFICATIVA

A região do semiárido cearense tem histórico de seca e impactos socioambientais e econômicos desde o período colonial. Em 1877 houve um período longo de estiagem que durou dois anos, conhecido como a “Grande Seca”, que causou a morte de quase metade da população do estado devido à sede, fome e doenças (Barreto, 2009). Em 1980, foi registrado o período de seca mais prolongado da história do Nordeste, que durou mais de cinco anos, e acarretou a morte de mais de 3,5 milhões de pessoas (Barreto, 2009). A partir de 2010, o

Ceará passou a receber os menores valores de precipitação anual, quando comparados à precipitação histórica dos últimos 100 anos, e que se tem estendido até hoje, totalizando mais de cinco anos (Governo do Estado do Ceará, 2016).

Segundo Ribeiro e Silva (2010), as dificuldades de acesso aos recursos hídricos se devem a dois problemas principais: i) o clima do semiárido com precipitações <800mm/a, mas que acabam ocorrendo de formas irregulares e com longos períodos de seca e ii) a problemas sociais como a pobreza e baixa adaptabilidade dos habitantes, que são agravadas pela falta de informação da população e investimentos financeiros na região. Somado a isso está o elevado percentual de população rural (mais de 30% dos 7,42 milhões de habitantes do Estado do Ceará), distribuído de forma difusa no território, apresentando alto nível de pobreza, dificultando o seu abastecimento através de sistemas hídricos economicamente viáveis e sustentáveis sob a óptica hidrogeológica (Teixeira, 2004).

Nas áreas urbanas, a Assembleia Legislativa do Ceará (2009) afirma que as principais causas de crise da água são associadas a: i) intensa urbanização, aumentando a demanda pela água para abastecimento e desenvolvimento; ii) estresse e escassez de água por alterações na disponibilidade; iii) infraestrutura urbana pobre, com até 30% de perdas; iv) problemas de estresse e escassez em razão de mudanças globais (sic), com grande irregularidade de chuvas; e v) problemas na falta de articulação de ações consistentes na governabilidade de recursos hídricos e na sustentabilidade ambiental.

Uma das alternativas interessantes é o Programa Água Doce (PAD), que é uma iniciativa do Governo Federal, coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). O PAD promove o uso dos recursos hídricos subterrâneos dentro de um marco de política permanente de acesso à água de qualidade, associado à gestão de sistemas de dessalinização, criação de recursos econômicos e treinamento da população local. Embora o PAD já exista há mais de 12 anos e as águas subterrâneas sejam a sua principal fonte, poucos trabalhos têm estudado os impactos causados pela exploração dos aquíferos, da mesma forma que a falta no gerenciamento deste recurso.

Assim, tanto o PAD como a própria sociedade se ressentem pela falta de estudos sobre águas subterrâneas no semiárido cearense e ainda persistem diversas dúvidas sobre o aproveitamento sustentável dos aquíferos, considerando um balanço entre retirada da água e a recarga do aquífero, a origem da salinização das águas subterrâneas, e a eficiência do bombeamento dos poços tubulares hoje em operação.

4. ÁREA DE ESTUDO

O trabalho teve um estudo prévio do estado do Ceará como um todo para que fosse estabelecida a melhor região para ser feito um estudo de detalhe.

O semiárido brasileiro foi definido em conformidade com a Portaria Interministerial nº1, de 09 de março de 2005, que estabelece critérios como o índice de aridez e a isoietas de 800mm para a delimitação dessa região no Nordeste proposta na Lei nº 7.827, de 27 de setembro de 1989.

O semiárido brasileiro é, entre as regiões secas do mundo, aquele que apresenta a maior população. São 1133 municípios espalhados em uma área de 982.563,3km² (IBGE, 2007), com uma população de 23,5 milhões de habitantes, sendo a maioria na área rural. Essa região apresenta temperatura média anual de 28°C, valores de precipitação que atingem apenas 800mm/a e de evapotranspiração potencial entre 1400 a 2000mm/a, resultando em um balanço hídrico negativo. Além disso, períodos prolongados de estiagem recorrentes têm trazido prejuízos econômicos e sociais extensivos.

Dentre os nove estados que englobam o semiárido brasileiro, o Ceará dispõe de 126.515 km², de seus 148.826 km² da área total ou seja 85% do seu território pertencente a essa região (Figura 4.1) (Ribeiro e Silva, 2010). A baixa disponibilidade de recursos hídricos superficiais (não há rios permanentes no Ceará), influenciada pelas baixas taxas pluviométricas que se concentram em um curto período do ano, são responsáveis pelos grandes períodos de estiagem no estado.

A área de estudo compreende os municípios de Arneiroz, Tauá, Catarina, Saboeiro, Aiuba, Parambu, localizados no centro oeste do semiárido cearense. Esses municípios encontram-se na porção sudoeste do estado do Ceará e estão inseridos na região do semiárido. Dentre eles, o município de Arneiroz aparece mais expressivamente na área delimitada.

4.1 Geologia do Estado do Ceará

O Estado do Ceará é caracterizado geologicamente por coberturas sedimentares recentes, bacias sedimentares e, predominantemente, pela Província Borborema (Figura 4.2). Esta última corresponde a cerca de 70% do Estado do Ceará e 21% do total do cristalino nordestino. O restante do estado está coberto por sedimento Cenozoico (Formação Barreiras) ou bacias sedimentares.

4.1.1 Coberturas Sedimentares Cenozoica

A Formação Barreiras é descrita por Branner (1902, apud Neto et al., 2012) como rochas formadas por sedimentos clásticos de origem variada, indo de argilas a conglomerados que recobrem o litoral brasileiro do Rio de Janeiro até o Amapá.

A idade da Formação Barreiras foi estabelecida entre o Mioceno até o Plioceno-Pleistoceno, mas estudos paliogênicos e radiométricos sugerem uma idade mais próxima ao Mioceno (Bezerra e Castro, 2011).

Essa Formação, durante anos, teve sua proveniência descrita como exclusivamente de ambiente continental, mas novos trabalhos trouxeram a descrição de ambientes deposicionais transicional e marinho raso (Bezerra e Castro, 2011).

Na região do Ceará, Costa et al. (1973, apud Neto et al., 2012) subdividiu o Grupo Barreiras (classificado como grupo na época), em Barreiras Indiviso e Formação Camocim. Essa Formação é uma unidade litoestatigráfica exclusiva do estado do Ceará e se diferencia do restante por apresentar estruturas e características litológicas únicas. Por outro lado, Nascimento et al (1981, apud Neto et al., 2012) classificou a Formação Camocim como uma fácies do “Grupo Barreiras”.

No estado do Ceará, segundo Neto (2007), essa Formação é constituída principalmente por siltitos, arenitos e conglomerados. Segundo o mesmo autor, as estruturas lá presentes possuem orientação preferencial NS, NE-SW, NW-SE e EW e são similares com as encontradas no embasamento, representado pela Formação Jandaíra, o que pode indicar uma atividade tectônica cenozoica.

4.1.2 Bacias Sedimentares

O final do Paleozoico foi marcado pelo acúmulo de massas continentais ao Gondwana, ajudando assim na formação do supercontinente Pangeia. No interior desses continentes os processos distensionais propiciaram a formação de regiões fraturadas e depressões interiores causadas por movimentos verticais que ajudaram no desenvolvimento de bacias deposicionais brasileiras, como a do Parnaíba.

A Bacia do Parnaíba, situada entre os estados do Piauí, Maranhão, Tocantins, Pará, Ceará e Bahia, se desenvolveu sobre os *rifts* cambro-ordoviciano de Jaibaras, Jaguarapi, Cococi/Rio Jucá, São Julião, e São Raimundo Nonato segundo Brito Neves et al. (1995) sendo composta por três supersequências: Siluriana (Grupo Serra Grande), Devoniana (Grupo Canindé) e Carbonífero - Triássica (Grupo Balsas).

Já Bacia do Potiguar encontra-se entre os estados do Ceará e Rio Grande do Norte. A sua evolução está inserida no contexto do rompimento do Supercontinente Gondwana, que resultou em um estiramento crustal. O rift apresenta uma orientação de alongamento NE – SW e as rochas sedimentares da Bacia são classificadas nos grupos Areia Branca, Apodi e Agulha (Araripe e Feijó, 1994).

Segundo Pessoa Neto et al. (2007) a sedimentação da bacia se desenvolveu em fases distintas da sua evolução tectônica: fase rift I, fase rift II, fase pós-rift e fase termal.

As fases de rift I e II foram responsáveis pela formação da primeira supersequência estratigráfica, conhecida como Supersequência Rift (Morelatto e Fabianovicz, 2015). Segundo Morelatto e Fabianovicz (2015), a primeira fase ocorreu durante o Neoberriasiano e Eobarremiano, onde houve um estiramento crustal que gerou falhas normais e grábens assimétricos de direção NE-SW. Ainda segundo o mesmo autor, os sedimentos que preencheram os grábens são de origem lacustre e flúvio-deltaico da Formação Pendência. Já a fase seguinte foi responsável por deslocar o eixo de rifteamento da bacia devido a um regime transcorrente-transformante durante os períodos Neobarremiano e Eo-aptiano.

A fase pós-rift é representada por um período de baixa atividade tectônica e uma gradativa transição de um sistema deposicional continental para marinho (Morelatto e Fabianovicz, 2015). A Formação Alagamar é formada por sedimentos flúvio-deltaicos e folhelhos transicionais. Por fim, a fase termal é representada por uma fase transgressiva exposta pelos sedimentos siliciclásticos das formações Açu e Quebradas (Morelatto e Fabianovicz, 2015).

Já Bacia do Araripe está alocada na província da Borborema, situada entre os estados do Piauí, Ceará e Pernambuco. Segundo Moraes e Figueroa (1998), ela é uma bacia intracratônica implantada sobre rifts de direção NE-SW, localizada entre as bacias do Parnaíba, Potiguar e Tucano-Jatobá. A sua composição litológica sedimentar se resume à conglomerados, arenitos conglomeráticos, arenitos, siltitos, folhelhos, argilitos, margas, calcários, gipsitas e anidritas. Possui três depocentros de sequências cratônicas indicando as fases de pré-rift (Formações Mauriti "Siluro-Devoniana", Brejo Santo "Jurássico", Missão

Velha "Jurássica"), rift (Formação Abaiara "Jurássico") e pós rift (sequências Aptiano-Albiano representada pelas Formações Santana e Arajara).

Discordante sobre estas unidades há a Formação Exu composta por arenitos argilosos de depósito de canal e argilitos de planície de inundação, interpretados como de rios meandrantos, além de apresentar estratificações cruzadas acanaladas e tabulares, sendo que tal depósito pertence desde o Albiano até o final do Cretáceo Superior segundo Ponte e Appi (1990), perfazendo assim o topo da Bacia do Araripe. Esta formação possui espessura de 250 metros.

Por fim, a Bacia de Cococi, localizada no sudeste do estado do Ceará, possui 70 km de comprimento e 11 km de largura com direção preferencial W-E (Gomes et al., 2000). Ela foi classificada como uma bacia do tipo rift e pull-apart com idade Eo-paleozoica e dividida em duas sequências: Formação Riacho Torto e Formação Cococi na base, e Formação Melancia no topo da bacia. A Formação Riacho Torto corresponde à formação basal do Grupo Rio Jucá, e é composta por conglomerados e brechas polimíticas, sendo os clastos do arcabouço representantes de granitos, basaltos, gnaisses, milonitos.

4.1.3 Província Borborema

A Província Borborema está inserida no nordeste brasileiro e é delimitada a oeste pela Bacia do Parnaíba, ao sul pelo Cráton São Francisco, a leste e norte pela Província da Margem Continental Leste e Equatorial, respectivamente. No Ceará ela é delimitada, na sua porção norte, pela Formação Barreiras.

Almeida et. al. (1977) descreve que a Província Borborema é uma região de dobramentos que se desenvolveu durante o Ciclo Brasileiro. O Ciclo Brasileiro foi responsável pelo amalgamento do supercontinente Gondwana pelos atuais continentes África, América do Sul, Austrália, Índia e Antártica (Trompette, 1994, apud Claudino-Sales e Peulvast, 2007). Segundo Caby et al. (1995, apud Claudino-Sales e Peulvast, 2007), esses crátons passaram por uma colisão do tipo Himalaiana, responsável por gerar um grande sistema deformacional. O embasamento nordestino brasileiro é marcado por uma grande zona de cisalhamento com direção NE-SW, que foi denominada como lineamento transbrasileiro (Brito Neves, 1995).

A Província foi interpretada, segundo Brito Neves et al. (1995), como uma grande região de dobramentos do tipo "branching system of orogens" de rochas supracrustais vulcano-sedimentares do Paleoproterozóico tardio, Mesoproterozóico (maioria das rochas) e Neoproterozóico, dispostas em porções de rochas do embasamento. Os últimos eventos ocorreram no ciclo brasileiro (Neoproterozóico ao Cambriano) durante todo o processo de

fusão da Gondwana Ocidental (Brito Neves, 1995). Esses últimos eventos deformacionais são responsáveis pela maioria das estruturas em formato de leque, relacionadas aos principais lineamentos da região (Sobral/Transbrasiliiano, Senador Pompeu, Patos e Pernambuco). Segundo o mesmo autor, a Província Borborema foi dividida em três zonas de cisalhamento (Subprovíncias): Zona Setentrional, Transversal, Meridional (Santos e Brito Neves, 1984) descritas com mais detalhe a seguir.

Localizado a norte, a subprovíncia setentrional está a norte do Lineamento Patos e foi dividida em cinco domínios distintos: Domínio Médio Coreau, Ceará Central, Rio Grande do Norte, Central e Sul, segundo a litoestratigrafia, estruturas, geocronologia e geofísica (Brito Neves et. Al, 2000).

O domínio Médio Coreau encontra-se a noroeste da zona de cisalhamento Sobral-Pedro II, representado por uma estrutura de caráter transcorrente dextral com direção preferencial nordeste - sudeste (NE-SW), associada ao Lineamento Transbrasiliiano-Kandi (Bizzi et al., 2003). Esse domínio possui uma estratigrafia muito variada, onde a porção basal é constituída por migmatitos, granulitos e por metassedimentos na porção supracrustal, como é o caso do Grupo São Joaquim, formado por quartzitos, principalmente (Torquato e Neto, 1996).

O Domínio Ceará Central, situa-se entre o Lineamento Sobral-Pedro II, a oeste, e o Lineamento Senador Pompeu, a leste. Esse domínio possui o embasamento de idade arqueana/paleoproterozóica composto, principalmente, por ortognaisses e migmatitos. Já o Grupo Ceará compõe grande parte da cobertura neoproterozóica, formado por rochas metapelíticas (Ancelmi et al., 2013). Os cisalhamentos brasileiros da região possuem como direção preferencial NE, para aqueles que são dextrais e direção NW, para os que são sinistrais (Apud Arthaud et al. 1988, Romario, 1999).

Além disso, segundo Sá et al. (2014), esse Domínio é marcado por suítes plutônicas, como por exemplo a Suíte Itaporanga demarcada por granitos e granodioritos, dioritos tarditectônicas do Neoproterozoico gerados em ambientes orogênicos.

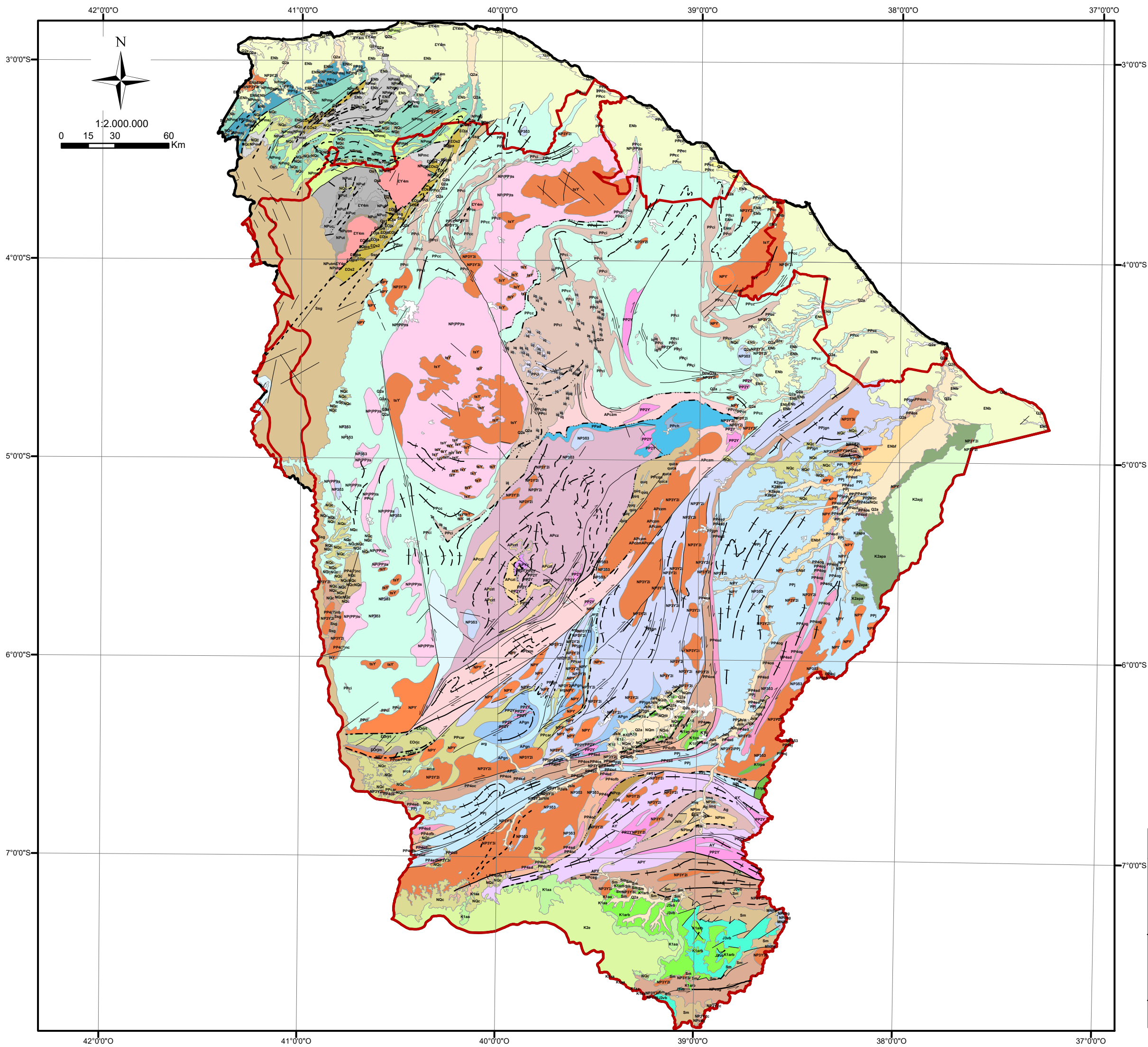
O Domínio Rio Grande do Norte situado entre o Lineamento Senador Pompeu a oeste, pela zona de cisalhamento do Lineamento Patos, a sul, e Oceano Atlântico, a norte, e a leste, apresenta o Sistema Orós-Jaguaribe sustentado por embasamento subdividido em dois blocos; a E-W Bloco São Nicolau e N-S Bloco Jaguarema, onde se ressalta a unidade metavulcanossedimentar do Grupo Orós. O Complexo Jaguaretama representa o embasamento gnáissico-migmatítico a leste da Faixa Orós (Bizzi et al., 2003), sendo caracterizado por ortognaisses tonalíticos a granodiorítica acinzentados e gnaisses bandados

e/ou migmatizados de composição granítica e tonalítica, relacionadas a rochas de alto grau metamórfico e diferentes níveis de migmatização. A direção preferencial da faixa é NNE-NNW, com arrasto para E-W devido ao Lineamento Patos a Sul (Brito Neve et al., 1995).

A sequência metavulcanossedimentar do Grupo Orós é composta por metapelitos e lentes de rochas metassedimentares de origem química (metamargas, mármore, metacherts e formações ferríferas) e detrítica (quartzitos e metassiltitos) segundo Machado (2006). Para a sequência Orós, os metassiltitos e filitos têm coloração esverdeada, apresentando venulação e fraturas preenchida por calcita, quartzo, clorita, frutos de processos hidrotermais como a sericitização. O Grupo Orós foi subdividido em Formação Santarém (quartzitos puros e impuros, micaxistos de granulometria fina a grossa e metacarbonatos) e Campo Alegre (metandesitos, metabasaltos, metarriolitos, metarriodacitos e intercalações de metatufos e metassedimentos), segundo Cavalcante (1999).

A subprovíncia da zona Transversal (ou Zona Central) é delimitada ao norte e a oeste pelo Lineamento de Patos, a leste pelas bacias costeiras e a sul pelo Lineamento Pernambuco. Essa zona é definida por um sistema de zonas de cisalhamento transcorrente dextrais de direção preferencial E-W e sinistrais de direção NE-SW (Brito Neves et. al, 1995). Essa Subprovíncia é composta pela Faixa Cachoeirinha, Alto Pajeú, Alto Moxotó e Rio Capibaribe.

Por fim, a Subprovíncia Meridional (ou Externa) corresponde à porção sul do Lineamento Pernambuco e foi dividida em Terreno Paulistana-Monte, Pernambuco-Alagoas e Canindé-Marancó de idade mesoproterozóica e as Faixas Riacho do Pontal e Sergipana de idade Neoproterozóica. A porção mais ocidental é representada pela Faixa Riacho do Pontal (Grupo Casa Nova), descrita por Dalton de Souza et al. (1979), como uma bacia de margem passiva empurrada sobre o Cráton São Francisco e o Terreno Paulistana-Monte que foi descrito formado em uma zona de cisalhamento trampressiva. O Terreno Pernambuco-Alagoas representa a maior parte da Subprovíncia Meridional, sendo delimitada pelo Lineamento Pernambuco a norte e por zonas de cisalhamento contracionais a sul. O Terreno Canindé esta localizando entre o Terreno Pernambuco-Alagoas e a Faixa Sergipana, dividido em Faixa Marancó que possui direção NW-SE e acompanha a Zona de Cisalhamento Macururé-Riacho Seco e a Faixa Canindé com direção preferencial de estruturas NE-SW junto a Zona de Cisalhamento Belo Monte-Jeremoabo. A Faixa Sergipana está situada entre os Terrenos Canindé-Marrancó a norte e o Cráton São Francisco a Sul e corresponde a uma bacia de margem passiva que sofreu deformação no neoproterozóico.



Legenda

- Estado do Ceará
- Estados do Brasil

Legenda

- Zona de cisalhamento transcorrente sinistral
- Zona de cisalhamento transcorrente dextral
- Zona de cisalhamento indiscriminado
- Zona de cisalhamento compressional
- Lineamentos estruturais: traços de superfícies S
- Falha ou zona de cisalhamento transcorrente sinistral
- Falha ou zona de cisalhamento transcorrente dextral
- Falha ou zona de cisalhamento indiscriminada
- Falha ou zona de cisalhamento extensional
- Falha ou fratura
- Falha extensional (normal)
- Limite do Semiárido Cearense
- Estado do Ceará

Base de Dados: Serviço Geológico do Brasil (CPRM)
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)

FIGURA 4.2 MAPA GEOLÓGICO DO CEARÁ

RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO SEMIÁRIDO CEARENSE: ENTENDER PARA AUMENTAR A RESILIÊNCIA DE SUA POPULAÇÃO RURAL ESTUDO DE CASO NOS MUNICÍPIOS DE ARNEIROZ, TAUÁ, CATARINA, SABOIEIRO, AIUBA, PARAMBU

PROJETO: TRABALHO DE FORMATURA 2017

INSTITUIÇÃO: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ELABORADO: DANIELA BARBATI OSÓRIO
LUCAS HENRIQUE DE CARVALHO

DATA: JULHO DE 2017

	Q2a	Depósitos aluviais (localmente coluviais): argilas, areias argilosas, quartzosas e quartzofeldspáticas, conglomeráticas ou não, cascalhos e argilas orgânicas / fluvial, em parte com influência marinha.
	Q2m	Depósitos fluviomarinhos e marinhos (planícies e canais de marés): vasas escuras (mangues), areias de praias e recifes areníticos (cordões de beach rocks), pelitos arenosos, carbonosos ou carbonáticos.
	Q2e	Depósitos eólicos litorâneos 2 (praias atuais/dunas móveis; inclui, localmente, sedimentos fluviomarinhos : areias esbranquiçadas, quartzosas, de granulometria variável, bem classificadas, em corpos maciços ou com partes exibindo arranjos estratiformes, onde ocorrem leitos mais escuros com concentrações de minerais pesados (somam-se níveis de cascalhos e outros com marcante estratificação cruzada, além de fácies com fragmentos de matéria orgânica) / eólico marinho e fluviomarinho.
	Qd	Depósitos eólicos litorâneos 1 (dunas fixas/paleodunas): areias de granulação fina a média, raramente siltosas, quartzosas ou quartzofeldspáticas, bem selecionadas, de tonalidades cinza-clara e alaranjada no topo, e avermelhadas na base (inconsolidadas ou consolidadas) / eólico litorâneo.
	NQt	Depósitos de tálus relacionados, predominantemente, às formações Santana e Arajara.
	NQc	Coberturas sedimentares de espraimento aluvial (inclui capeamentos de planaltos e coluviões holocênicas): sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos, de tons alaranjado, avermelhado e amarelado; apresentam-se, em certos locais, cascalhosos e laterizados na base (geralmente, o cimento é argiloso e ferruginoso) / fluvial.
	NQm	Formação Moura: conglomerados polimíticos, na base, de matriz arenosa grossa e de fraca diagênese, mal selecionados e pobremente cimentados por material siltico-arenoso de cor vermelha a creme; areias de granulometria variável, de tonalidades avermelhadas e amarelo-claras; siltitos vermelhos no topo / fluvial.
Grupo Barreiras	ENbf	Formação Faceira: conglomerados basais, avermelhados, com seixos e calhaus de rochas cristalinas diversas; arenitos pouco litificados e avermelhados, siltitos vermelhos com níveis de argilas e cascalhos (horizonte laterítico na base) / fluvial.
	ENb	Indiviso: arenitos argilosos de tonalidade variegada (amarelada, avermelhada e esverdeada), matriz argilo-caulínica, com cimento argiloso, ferruginoso e, às vezes, silicoso; granulação fina a média, com leitos conglomeráticos e nódulos lateríticos na base (pode-se encontrar, no topo, areias silticas bem classificadas) / sistema fluvial com esporádicas corridas de lamas.
	ENbc	Formação Camocim: ortoconglomerados grossos, oligomíticos, duros, compactos e cimentados por materiais lateríticos siltico-ferruginosos, de tonalidades castanhas e avermelhadas.
	Eλm	Suíte Magmática Messejana: tefritos, fonolitos, traquitos, tufos alcalinos e essexitos porfíricos, ocorrendo associados ou isoladamente.
Grupo Apodi	K2apj	Formação Jandaíra: calcários esbranquiçados, homogêneos, em parte litográficos e ritmicamente intercalados com margas friáveis; intercalações de folhelhos, siltitos de cores esverdeadas e cinzentas, nos tipos margosos basais (no geral, predominam os calcarenitos e calcilitutos bioclásticos, cinza-claros a amarelados, com níveis evaporíticos na base) / marinho (planície de maré - plataforma carbonática).
	K2apa	Formação Açú: arenitos cinzentos e avermelhados, de granulação fina a média localmente conglomeráticos, interestratificados com siltitos cinzentos (com variações amarronzadas, avermelhadas e esbranquiçadas), calcíferos ou não e folhelhos cinza-escuros e amarronzados (ocasionais intercalações de argilitos avermelhados e verde-escuros e lentes de calcários no topo) / marinho litorâneo e fluvial com esporádicos ingressos marinhos.
Grupo Araripe	K2ae	Formação Exu: arenitos médios a grossos, avermelhados, mal selecionados, por vezes conglomeráticos, friáveis, porosos e permeáveis (exceto silicificados) / fluvial torrencial (sistema fluvial entrelaçado e meandrante).
	K1aa	Formação Arajara: arenitos finos, às vezes caulínicos, siltitos amarelados e arroxeados, finamente estratificados / lagunar e planície de maré (sistema transicional e marinho raso).
	K1as	Formação Santana: margas e folhelhos cinza-escuros (topo), calcários, gipsita, folhelhos negros e betuminosos (meio), calcários laminados e margas (base) / sistema com ingressão marinha episódica, lagunar euxínico e evaporítico, lacustre carbonático (sistema transicional e marinho raso, somado a fluvio-lacustre carbonático).
	K1arb	Formação Rio Batateiras: arenitos finos a médios, argilosos, amarelados e cinzentos, siltitos e folhelhos cinzentos, bem estratificados e leitos de folhelhos negros betuminosos / fluvial e lacustre.
Grupo Igatu	K1il	Formação Lima Campos: arenitos arcoseanos grossos, ritmitos de arenitos finos a médios, micáceos e intercalados com arenitos finos silticos, siltitos e folhelhos vermelhos e verdes; margas em camadas intercaladas / aluviofluvial e lacustre raso.
	K1im	Formação Malhada Vermelha: ritmitos de siltitos, folhelhos e arenitos finos, vermelhos e verdes, bem estratificados em delgadas intercalações subsidiárias de margas e calcários / lacustre.
	K1ic	Formação Icó: arenitos arcoseanos e líticos, grossos a conglomeráticos, em bancos espessos, com estratificação cruzada; intercalações de arenitos médios a finos, vermelhos, além de folhelhos e margas (Klicn - região da área-tipo, com tratos recobertos pela K1im - não cartografados) / leques aluviais coalescentes.
	K1(?)s	Formação Sitiá: conglomerados polimíticos, arenitos conglomeráticos arcoseanos e siltitos-argilitos de cores variegados; estratificação cruzada e alto grau de silicificação / fluvial.
	K1rpa	Formação Antenor Navarro (Grupo Rio do Peixe): arenitos grossos, amarelados, conglomeráticos, acamamento médio a grosso, com estratificação cruzada; conglomerados quartzosos e polimíticos; arenitos finos a médios, vermelhos e bem acamados / leques aluviais coalescentes.
	JK1βc	Suíte Magmática Ceará-Mirim: diabásios (dominantes) e gabros, em jazimentos diqueiformes.
Grupo Vale do Cariri	K1va	Formação Abaiara: arenitos micáceos, argilosos, intercalados com siltitos e folhelhos castanhos, cinzentos e esverdeados, bem estratificados / ambiente lacustre raso e fluvial.
	J3K1vm	Formação Missão Velha: arenitos brancos e amarelos, grossos, mal selecionados, friáveis e contendo madeira fóssil / fluvial torrencial.
	J3vb	Formação Brejo Santo: folhelhos e siltitos de cores variadas e com intercalações de arenitos finos, argilosos, vermelhos / lacustre raso, com influência fluvial e, secundariamente, eólica.
Grupo Riacho S. Lourenço	Jsls	Formação Serrote do Limoeiro: arenitos vermelhos a roxos, finos a médios, friáveis, bem classificados, caulínicos, com boa estratificação em acamamento médio, intercalados com siltitos e argilitos vermelhos, além de folhelhos verde-oliva, localmente fossilíferos / lacustre raso e fluvial.
	Jslβ	Unidade Basáltica: basalto de textura subofítica, composto, essencialmente, de plagioclásio e augita e, acessoriamente, de hematita e magnetita.
	Jsli	Formação Iborepi: arenitos branco-amarelados, de granulação grossa a conglomeráticos, mal classificados, friáveis, com acamamento espesso e irregular, além de estratificações cruzadas / leques aluviais e bancos de arenitos fluviais anastomosados.
	Sm	Formação Mauriti: arenitos de granulometria variável (de fina a grossa até arenitos conglomeráticos) e conglomerados / fácies de leque aluvial, fluvial entrelaçado e eólico.
	Ssg	Grupo Serra Grande: conglomerados e arenitos, em parte feldspáticos, com intercalações de siltitos e folhelhos / fluvial e marinho raso com registro glacial?).
Grupo Riacho Sairi		Formação 3: ortoconglomerados polimíticos, geralmente de matriz areno-feldspática sem acamamento marcante / sistema fluvial.
	εOs2	Formação 2: arenitos quartzosos, arcoseanos, líticos e micáceos, de granulometria diversificada, matriz quartzofeldspática e cimento silicoso e ferruginoso; tonalidades escura, roxo-avermelhada e, subordinadamente, cinza-esverdeada e creme; estratificação plano-paralela, marcas de ondas e laminação; metamorfismo de muito baixo grau / fluvial (tratos distais).
	Os1	Formação 1: conglomerados polimíticos, com seixos de quartzitos, granitóides, gnaisses e filitos, de matriz areno-arcoseana cinzenta, em contatos transicional-interfaciais com a Formação 2 / fluvial (trato proximal).
Grupo Jaibaras	εOja	Formação Aprazível: ortoconglomerados grossos e polimíticos, com matriz arcoseana e, normalmente, sem acamamento / fluvial.
	εOjpa	Formação Parapuí: basaltos (em parte amigdaloidais/vesiculares e/ ou espilitizados/queratofirizados), andesitos, riolitos (com fases porfíricas e ignimbéricas), gabros, diabásios e dacitos, somando-se seções marcadas por associações vulcano-vulcanoclástica e piroclástica (com bombas e lapílis).
	εOjp	Formação Pacujá: arenitos líticos e arcoseanos, micáceos e de granulometria variável, folhelhos e siltitos vermelhos, micáceos, leitos conglomeráticos; cores escura, roxo-avermelhada e, acessoriamente, esverdeada e creme; estratificação plano-paralela e laminação; metamorfismo de muito baixo grau / fluvial.
	εOjm	Formação Massapê: ortoconglomerados brechóides, de matriz areno-arcoseana cinzenta, com seixos de gnaisses, granitóides, quartzitos, filitos e arenitos, em contatos transicionais com a Formação Pacujá / fluvial.

Grupo Rio Jucá	ΕOrjm	Formação Melancia: conglomerados de matriz grossa (dominante), arenosa, e com importante diagênese; siltitos intercalados e alternados a arenitos litofeldspáticos, avermelhados e, não raro, folhelhos amarronzados e siltitos arenosos, além de brechas / fluvial.
	ΕOrjc	Formação Cococi: ardósias, folhelhos, argilitos e siltitos calcíferos, de tons cinzentos e chocolates, com intercalações esporádicas de arenitos grossos e conglomerados; ardósia cinzenta em zona de cisalhamento / fluvial.
	ΕOrjt	Formação Angico Torto: : conglomerados polimíticos, brechas, arcóseos, subarcóseos e arenitos litofeldspáticos, geralmente duros e compactos, às vezes calcíferos, com intercalações de arenitos mais finos, siltitos e argilitos, no topo; tonalidade preferencial entre nacarada e avermelhada / fluvial.
	ΕOi	Formação lara: conglomerados polimíticos, brechóides (fragmentos: gnaisses diversos, granitóides, vulcanitos ácidos e básicos, filitos, vidro vulcânico etc.), com níveis (lentes) de siltitos ardosianos e arenitos finos a muito finos, micáceos e ferruginosos, avermelhados e arroxeados; arcóseos (e/ou vulcanoclásticas com fragmentos angulosos de tufo) e subarcóseos cinzentos e de granulação média a grossa (incorpora, provavelmente, corpos de rochas vulcânicas brechificadas e/ou, em parte, modificadas hidrotermalmente), além de paraconglomerados; metamorfismo de muito baixo grau / fluvial.
	ΕY4m	Suíte Granitóide Meruoca: monzonitos, granodioritos e sienitos (rara fase diorítica) com predomínio da fácies equigranular, com granulação de média a grossa, incluindo fácies porfíricas; tons avermelhados a cinzentos ou esbranquiçados.
Supersuíte Granitóide Tardia Pós-orogénica	NP3&a	Magmatitos Araqueri: dacitos, andesitos, riolitos, riodacitos, diabásios e granitos, em jazimentos diqueformes.
	NP3&g	Magmatitos Guaribas: riolitos, andesitos, dioritos, lamprófiros, dacitos, riodacitos, traquitos e microgranitos, em jazimentos diqueformes.
	NP3a	Granitóides aplíticos e pegmatitos (diques).
Supersuíte Granitóide Sintardi-orogénica	NP3&3	Suíte Gabróide 3: dioritos incluindo, subordinadamente, gabros e granitóides.
	NP3Y3s	Suíte Granítica Shoshonítica Ultrapotássica: egrina-augita e richterita-alcalifeldspato sienito e granito, localmente com enclaves e diques sinplutônicos de piroxenito.
	NP3Y 3p	Alcalifeldspatos granitos/sienitos, quartzo sienitos, quartzomonzonitos e, subordinadamente, granodioritos, com proporções variáveis de biotita, hornblenda e piroxênio, além de enclaves de micapiroxenitos; suíte ultrapotássica peralcalina.
Grupo Cachoeirinha	NP3Y3i	Indiferenciada: granitóides cinzentos, geralmente de granulometria média a grossa (fácies porfírica subordinada), de composição granítica dominante, em parte com enclaves dioríticos, em jazimentos individualizados ou embutidos nos corpos dos NP3 2, onde ocorrem como uma fase mais nova.
	NP3Y2c	Suíte Magmática Conceição: quartzodiorito e tonalito com epidoto primário e autólitos de rochas máficas.
	NP3Y2i	Suíte Granitóide Itaporanga: granitos e granodioritos de granulação grossa e porfíricos, à biotita +/- anfibólio, associados a dioritos e fases intermediárias de misturas; monzogranitos subordinados.
	NP3d2	Suíte Gabróide 2 (afinidade aos espaços dos granitóides 2): dioritos, gabros, noritos (às vezes, diferenciados ultramáficos), tonalitos e, acessoriamente, quartzomonzonitos e granodioritos.
	NP&Y t	Complexo Tauá: associação magmática híbrida diorito-granodiorítica (tonalitos subordinados), localmente gradando para gabro, sendo intrudida por fase granítica porfírica e outra, subsequente, de granitos equigranulares finos a médios, à biotita e anfibólio.
	NPYo	Ortognaisses facoidais, cinzentos e nacarados, de composição granítica dominante.
	NP&	Dioritos associados a fácies gabróicas e, subordinadamente, granitóides.
	NPY	Granitóides diversos: biotita-granitos, monzogranitos, sienitos, quartzomonzonitos e granitos porfíricos, em parte somados num mesmo espaço cartografado. NP(?) g- granitóides de cronologia NP duvidosa.
	NP(PP)ts	Complexo Tamboril-Santa Quitéria: associação granito-migmatítica, envolvendo granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, de granulação variável até termos porfíricos, gnaissificados ou não, em jazimentos de geometrias e dimensões diversas; para e ortognaisses migmatíticos, além de rochas calcissilicáticas, anfibolitos e, localmente, rochas ferríferas e metaultramáficas (relacionadas, no geral, ao Complexo Ceará e sendo, as primeiras, freqüentes como enclaves dos granitóides); ts - granitóides dominantes (corpos menores fotointerpretados); ts o - ortognaisse facoidal milonítico. NP(PP) c - conjunto similar ao NP(PP) ts.
	PRY	Granodioritos, tonalitos e granitos gnaissificados, de granulação média a grossa, geralmente cinzentos.
Grupo Ubaieira	NPutm	Termometamorfitos derivados de litotipos das Nput, Npuf e Npuco (evento térmico cambriano/pós-orogênico).
	NPuc	Formação Coreau: subarcóseos e arcóseos de tonalidades cinzentas e cremes, grauvacas e grauvacas conglomeráticas, constituindo um conjunto com variações laterais e verticais de fácies / fluvial.
	NPuf	Formação Frecheirinha: metacalcários pretos, cinza-escuros e cinza-azulados, raramente cremes e rosados, de granulação fina, bastante impuros e com intercalações eventuais de delgados leitos de margas, metassiltitos e quartzitos escuros / marinho raso (plataformal).
	NPuca	Formação Caiçaras: ardósias vermelhas e roxo-avermelhadas, com clivagem bem desenvolvida, metassiltitos e intercalações de metarenitos (ortoquartzitos), freqüentemente cristalizados e cortados por veios de sílica / marinho raso.
	NPut	Formação Trapiá: quartzitos conglomeráticos, arenitos grossos epimetamórficos, mal classificados, metarenitos finos a médios, com matriz siltico-argilosa de tonalidade cinza-clara / litorâneo-fluviomarinho.
Grupo Martinópolis	NPcsg	Formação Santana dos Garrotes: filitos, micaxistos (sericita, muscovita e biotita), de tonalidades cinzentas e esverdeadas (rocha sã), metassiltitos, metarenitos, metarcóseos e, mais raramente, intercalações de metagruvacas, metaconglomerados intraformacionais e níveis ferríferos (por vezes de aspecto brechoso); localmente, micaxistos e paragnaisses, com paragênese à muscovita + biotita +/- cordierita +/- granada +/- sillimanita +/- estauroлита; seções com metarritmitos, metavulcânicas básicas espilitizadas e/ou metakeratófiros (em parte com marcantes modificações hidrotermais e/ou cataclásticas), metavulcânicas ácidas e metavulcanoclásticas / marinho.
	NPcp	Formação Caipu: micaxistos de granulação fina a média, leitos ou lentes de metavulcânicas básicas e intermediárias, além de rochas calcissilicáticas, mica-quartzo xistos e quartzitos (cpq - onde freqüentes) / marinho.
	NPIm	Formação Lavras da Mangabeira: filitos, micaxistos, quartzitos (Imq), metaconglomerados e, acessoriamente, metavulcanitos e rochas calcissilicáticas / fluvial, transicional-marinho.
	NPmst	Formação Santa Teresinha: clorita-sericita filitos, quartzo filitos, filitos carbonosos, filitos ardoseanos e metassiltitos; intercalações de metacarbonatos, chertes e metavulcânicas ácidas (riolitos)/ marinho e glacial-marinho.
	NPmc	Formação Covão: muscovita xistos, em parte com cianita e feldspato, com percentagens variáveis de quartzo, fácies miloníticas e muscovita-albita-clorita xistos de provável derivação vulcânica (metakeratófiro ?) / marinho raso.
Grupo Novo Oriente	NPmsj	Formação São Joaquim: quartzitos puros e micáceos, compactos e laminados (fácies tectônica), em parte com cianita ou sillimanita ou estauroлита; ocasionais intercalações de xistos quartzosos, rochas calcissilicáticas e formações ferríferas, além de milonitoxistos derivados de vulcanitos ácidos / marinho raso.
	NPmg	Formação Goiabeira: muscovita-sericita xistos, estauroлита xistos, muscovita-clorita xistos, cianita xistos, quarzitos ferríferos (mgq - onde dominantes) e, subordinadamente, paragnaisses / marinho (lagunar?).
	NP1c	Suíte Magmática Caldeirão: metagabros com cumulos ultramáficos.
	MNPp	Complexo Piancó: biotita-hornblenda gnaisses, em parte migmatizados, e micaxistos (+/- cordierita); anfibolitos, metacalcários e rochas calcissilicáticas, subordinados.
	PP4sa	Unidade Vulcânica Saquinho: metatraquiandesitos e riolitos, com fácies miloníticas e cataclásticas.
Grupo	PP4(?)nc	Formação Caraubas: micaxistos (clorita, sericita, biotita, muscovita, subordinadamente sillimanita ou cianita ou granada-estauroлита), localmente nodulosos (sericita, clorita, formas vestigiais de estauroлита) ou com porfiroclastos de quartzo, além de tipos hornféisicos granádiferos e de aspecto conglomerático; metassiltitos, filitos, metavulcanoclásticas (?), metavulcânicas básico-intermediárias, xistos ultramáficos, metacalcários (nca) e metarenitos finos, em parte feldspáticos / transicional-marinho.
	PP4(?)nb	Formação Bonsucesso: quartzitos de tonalidades claras, compactas, em parte bastante recristalizados e/ou fraturados, granulometria variada, baixa porcentagem de micáceos, localmente feldspáticos; intercalações de muscovita-quartzo xisto, com ou sem biotita / transicional-marinho.
	PP4sd	Suíte Granitóide Serra do Deserto (PP4sd? - em situação duvidosa): augenortognaisses graníticos, à biotita +/- hornblenda, servindo de encaixantes para corpos de tonalitos ou quartzodioritos e sienogranitos gnaissificados.

Grupo Orós	PP4os	Formação Santarém: micaxistos diversos (biotita, muscovita, granada, estauroлита, andaluzita, sillimanita), localmente com estreitas intercalações de metamagmatitos ácidos a básicos; quartzitos (osq), localmente feldspáticos ou granadíferos, por vezes associados a metachertes ferríferos e mica-quartzo xistos; filitos, metassiltitos, metacarbonatos (metacalcários a metadolomitos/magnesitas - osca) e rochas calcissilicáticas / marinho, transicional-lagunar.
	PP4oc	Formação Campo Alegre: metarriolitos (ocr), por vezes associados a metarriodacitos e/ou dacitos e/ou metatufos ácidos, ou metassedimentos e metabasaltos-metandesitos (ocb).
	PP4og	Formação Gnáissica: hornblenda-biotita gnaisses e biotita gnaisses (oqg - quartzitos associados a paragnaisses e, localmente, a anfibolitos/anfibólio gnaisses e metatufos).
	PP4ofb	Formação Farias Brito: gnaisses à biotita e/ou hornblenda (em parte à biotita + muscovita) e com intercalações lenticulares de metacalcários (fbca) e, subordinadamente, rochas calcissilicáticas, micaxistos feldspáticos e quartzitos.
	PP4sj	Grupo São José: biotita +/- anfibólio paragnaisses, metacarbonatos, quartzitos, xistos, metaconglomerados, metavulcânicas e metatufos.
	PP2Y	Ortognaisses granito-granodioríticos, acessoriamente tonalíticos, em parte facoidais e/ou associados a migmatitos.
	PPY	Ortognaisses granito-granodioríticos.
	PPgδ	Dioritos e gabros.
Complexo Ceará	PPci	Unidade Independência: paragnaisses e micaxistos aluminosos (em parte migmatíticos), incluindo quartzitos (iq), metacalcários (ica), rochas calcissilicáticas e, mais raramente, anfibolitos (iqx - micaxistos, paragnaisses e quartzitos; ipx - paragnaisses e micaxistos).
	PPcc	Unidade Canindé: paragnaisses em níveis distintos de metamorfismo-migmatização, incluindo ortognaisses ácidos (p.ex: em cogn) e rochas metabásicas: c - metagabros, anfibolitos com ou sem granada, e gnaisses dioríticos, associados ou não a enderbitos; c1 - metagabros e metaultramáficas serpentinizadas e xistificadas, lentes de quartzitos (cq), metacalcários (cca), rochas calcissilicáticas (ccs), formações ferríferas (cfe) e ferro-manganesíferas, além de metaultramáficas (c); cgnl - granulitos máficos, enderbitos e leptinitos; caf - anfibólio gnaisses e/ou anfibolitos; PP(NP)cc - tratos onde são comuns os jazimentos estratóides e diqueformes de granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, gnaissificados ou não
	PPcqu	Unidade Quixeramobim: paragnaisses e micaxistos aluminosos; níveis subordinados de quartzitos (quq), metacalcários (quca) e rochas calcissilicáticas.
	PPcar	Unidade Arneiroz: paragnaisses diversos, em parte migmatíticos, e micaxistos, encerrando jazimentos de dimensões variadas de quartzitos (arq - quartzitos + micaxistos), metacalcários (arca), rochas calcissilicáticas, anfibolitos e talcoxistos; arg - predomínio de paragnaisses; arq - quartzitos, micaxistos e metavulcânicas básicas, em níveis distintos de deformação milonítica.
	PPa	Unidade Acopiara: paragnaisses e ortognaisses, parcialmente migmatíticos, incluindo, subordinadamente, micaxistos grafitosos, anfibolitos, rochas calcissilicáticas (aca), por vezes scheelitíferas, metaultramáficas e quartzitos (aq); PPag - segmento com participação de ortognaisses graníticos e tonalíticos, de tonalidades cinzentas cortados por diques de rochas básicas metamorizadas.
	PPj	Complexo Jaguaretama: ortognaisses migmatizados, composição entre granito e tonalito, com paragnaisses, anfibolitos, quartzitos, metaultramáficas e rochas calcissilicáticas (PPjgn - segmento com importante participação desses matamorfitos de derivação sedimentar, incluindo lentes de metacalcários (jca).
	PP1g	Complexo Granja: ortognaisses TTG, gnaisses kinzigíticos, granulitos e migmatitos bandados e dobrados, encerrando fácies miloníticas (PP1gg - segmento com marcante inclusão de granulitos, kinzigitos e migmatitos retrabalhados em tempos neoproterozóicos; gq - quartzitos, gga - anfibolitos/anfibólio gnaisses com leitos de leucognaisses).
	PPch	Unidade Choró: quartzitos, micaxistos, metarcóseos, metarenitos conglomeráticos e metaconglomerados.
	PPad	Unidade Algodões: paragnaisses diversos, em parte de protólito arcoseano, metabasaltos, anfibolitos, metaultramáficas e formações ferríferas, por vezes associados a e diques de ortognaisses leucocráticos e mesotipos; adb - anfibolitos e/ou anfibólio gnaisses associados, em parte, a gnaisses dioríticos e metaultramafitos.
	APgn	Ortognaisses granito-granodioríticos de tonalidade cinzenta, incluindo leucogranitóides gnáissicos, migmatitos e lentes de rochas anfibolíticas.
Complexo Cruzeta	APY	Ortognaisses graníticos a granodioríticos, geralmente migmatizados, associados a migmatitos de paragnaisses, inserindo lentes de micaxistos, quartzitos (ferríferos ou não), metacarbonatos e anfibolitos.
	APYc	Suíte Granitóide Cedro: leucogranitóides metamorizados de granulação média a grossa, composição granito-granodiorítica raramente tonalítica.
	APcz	Indiferenciado: domínio de ortognaisses cinzentos (TTG), paragnaisses e migmatitos, encerrando lentes de anfibolitos/metabasaltos, metagabros, metaultramáficas, metacalcários, micaxistos, gonditos, formações ferríferas/itabiritos (czit) e rochas calcissilicáticas.
	APczt	Unidade Tróia: czt - metagabros, metabasaltos (tmb) e, acessoriamente, metaultramáficas (czt), metadioritos e metatufos básicos (associados ou não a metassedimentos); czts - quartzitos, xistos, metachertes, formações ferríferas, paragnaisses, gonditos, metacalcários impuros (cztca) e rochas calcissilicáticas; cztg - segmento realçado pela existência de paragnaisses e micaxistos cianíticos.
	APczm	Unidade Mombaça: ortognaisses granodioríticos, graníticos e tonalíticos, geralmente cinzentos, e migmatitos, dominando sobre anfibolitos, metagabros, metaultramáficas, charnockitos (raros), metacalcários e rochas calcissilicáticas (czm - segmento com importante participação de ortognaisses granodioríticos paleoproterozóicos).
	AY	Ortognaisses tonalito-granodioríticos, localmente trondhjemíticos, incluindo esparsas lentes de rochas metaultramáficas, metabásicas, calcissilicáticas, metacalcários e formações ferríferas, relacionadas ao Complexo Granjeiro.
	Ag	Complexo Granjeiro: micaxistos (com ou sem cordierita), quartzitos (gq), metachertes, BIFs, metacarbonatos (gca) e rochas calcissilicáticas (gcs) e metabasaltos e/ou metagabros, metaultramáficas (g) (serpentinitos, talcoxistos e raros peridotitos) e granada anfibolitos.

4.1.4 Neotectônica

A neotectônica é um fator importante que pode impactar diretamente nas feições geomorfológicas e nas características hidroestruturais da área de estudo. E, como será discutido a seguir, é fundamental para a compreensão dos eventos tectônicos e reativação de estruturas no estado do Ceará.

A ideia da Neotectônica foi utilizada pela primeira vez pelo geólogo Obrushev em 1948, quando ele usou o termo para descrever os movimentos recentes da crosta terrestre que ocorreram durante os períodos Terciário Superior ou Neógeno (Mioceno e Plioceno) e Quaternário (Neto, 2007). Segundo a classificação de Obrushev (1948, apud Neto, 2007), os movimentos neotectônicos podem ser de três tipos: Movimentos alpinos, relacionado aos movimentos do Cretáceo até os dias de hoje; Movimentos Recentes, que ocorrem desde o Plioceno e; Movimentos Modernos que são os atuais propriamente dito.

Adiante, os conceitos atuais sobre geotectônica foram implementados nas definições de neotectônica para condizer com a tectônica de placas (Neto, 2007). Com isso, a *International Union for Quaternary Research* (INQUA), criou em 1978 uma definição para padronizar os movimentos neotectônicos:

“Quaisquer movimentos ou deformação ao nível geodésico de referência, seus mecanismos, sua origem geológica, suas implicações para vários propósitos práticos e suas extrapolações futuras. Os movimentos neotectônicos englobam o acervo de deformações rúptil ou dúctil de um período neotectônico”.

O grande ponto de controvérsia dessa área é estabelecer o período em que permite estabelecer o início dos movimentos neotectônicos. Em 1989, Morner (apud Neto, 2007), baseado no conceito de tectônica ativa, propôs que a neotectônica necessita englobar os movimentos passados ou anteriores ao presente e sugeriu limites para os domínios neotectônicos:

- Os últimos 2,5 Ma: reorganização geral do regime tectônico;
- Os últimos 6 Ma: posterior à idade Messiniana (Idade Zancleana);
- Os últimos 23 Ma: corresponde aos Neógeno Inferior;
- Os últimos 38 Ma: período de reorganização da tectônica global.

Segundo Saadi (1993), o período neotectônico é determinado com aqueles os testemunhos e evidências de atividade tectônicas mais recentes, associados com características geomorfológicas (fisiográficas e sedimentológicas) de uma determinada região.

Já Stewart e Hancock (1994, apud Fernandes, 1997), descreveu a Neotectônica como a parte da geologia que compreende os movimentos tectônicos que começaram no passado e que permanecem até os dias atuais. Desse modo, a neotectônica estaria sujeita a idades e lugares diferentes conforme a evolução tectônica local, e acaba desconsiderando a ideia de um limite fixo para os domínios neotectônicos. Os movimentos neotectônicos estariam envolvidos com o regime tectônico atual, ou seja, estariam dentro de esforços e deformações que persistiram sem mudanças significativas de orientação ao longo dos anos, podendo ou não reativar estruturas (Stewart e Hancock, 1994 apud Neto, 2007).

Em relação a Placa Sulamericana, Assumpção (1992) afirma que durante grande parte do Cenozóico, o regime tectônico foi regido pela Cadeia Meso-Oceânica e não sofreu mudanças significativas quanto ao esforço principal de direção E-W.

No estado do Ceará, Berrocal et al. (1984, apud Neto, 2007) catalogou 74 eventos sísmicos entre os anos de 1560 a 1981, a partir de relatos ou medidas instrumentais. Os eventos sísmicos registrados em redes sismográficas temporárias nas proximidades da Bacia do Potiguar duram de meses a anos, com terremotos que não ultrapassam 12Km de profundidade (Assumpção, 1992).

Carneiro et al. (1989, apud Neto, 2007) trouxeram que existem anomalias no gradiente geotérmico e fluxo nos maciços do Domínio Ceará Central, na Bacia Potiguar e na região de Fortaleza. Segundo os mesmos autores, muitas vezes essas anomalias estão associadas a falhas, áreas que sofreram atividade ígnea nos últimos 30 Ma e zonas de faturamento oceânico.

Para Saadi e Torquato (1992, apud Neto, 2007), a organização tectônica do estado do Ceará está relacionada as direções principais NE-SW de zonas de cisalhamento NE-SW que são interceptadas por falhas NW-SE.

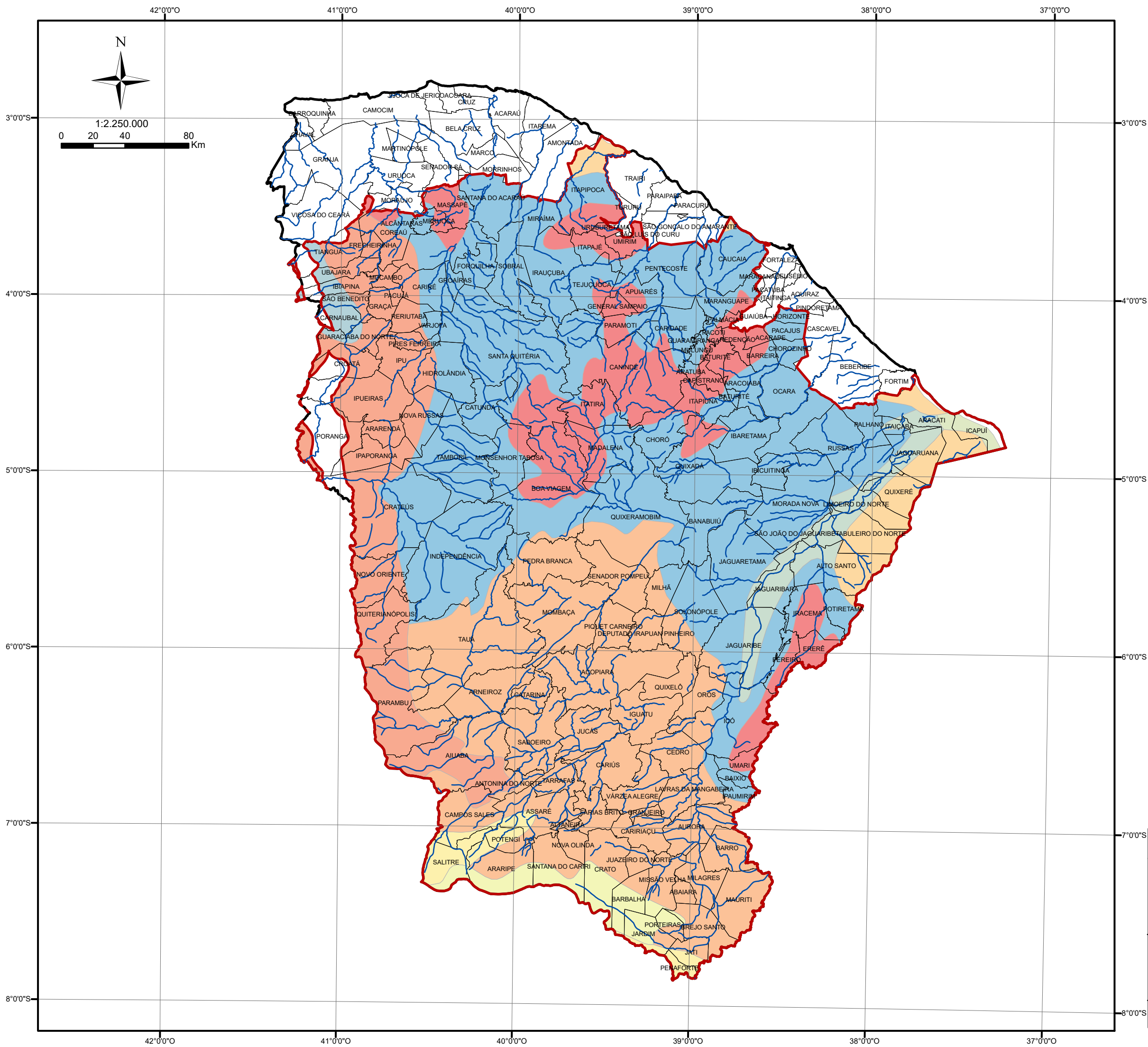
Outra evidência da neotectônica para Saadi e Torquato (1992, apud Neto, 2007) está relacionado com os blocos tectônicos do Domínio Ceará Central, como por exemplo o Complexo Santa Quitéria, que foram soerguidos após a sedimentação da Formação Barreiras por meio de esforços transpressivos acarretados por transcorrências de orientação SW-NE.

4.2 Geomorfologia do Estado do Ceará

Em relação à geomorfologia, o semiárido do Ceará é caracterizado predominantemente por três domínios geomorfológicos de maior importância para esse trabalho (Figura 4.3). A Depressão Sertaneja, superfícies aplainadas e estabilizadas em cotas que variam de 250 a 500 metros, são resultantes de um longo período de estabilidade tectônica e processos erosivos em rochas cristalinas do embasamento ígneo-metamórfico

(CPRM, 2014). Os Maciços Residuais Cristalinos, por sua vez, estão espalhados pelo território do semiárido cearense e são altos topográficos montanhosos com cotas entre 600 a 1.100 metros, compostos principalmente por granitoides e quartzitos resistentes ao intemperismo e erosão. Por fim, as Depressões Sedimentares em Meio à Superfície Sertaneja são caracterizadas por pequenas bacias sedimentares sobre o embasamento cristalino da Depressão Sertaneja com cotas em torno de 150 e 300m (CPRM, 2014).

Delimitando o território cearense é possível identificar outros sete domínios geomorfológicos que são: a Chapada do Apodi localizada a oeste do estado forma um platô de rochas sedimentares litificadas com topografia entre 80 e 260m; Chapada do Araripe localizada ao Norte do estado com cotas bem elevadas com cerca de 800 a 950m, formadas por rochas sedimentares da bacia do Araripe; Chapada do Ibiapaba localizada na divisa com o estado do Piauí formada por um planalto de rochas sedimentares com topografia entre 650 a 920m; Planície Costeira do Ceará próximo ao litoral cearense localizado ao norte, formando grandes falésias de até 25 metros de altura; Tabuleiros Costeiros são extensos topos planos de rochas sedimentares pouco litificados que ocupam a porção mais litorânea do estado com elevação entre 30 e 100m (CPRM, 2014).



1:2.250.000

0 20 40 80 Km

Legenda

- Estado do Ceará
- Brasil

Legenda

- Drenagem
- Limite do Semiárido Cearense
- Estado do Ceará
- Geomorfologia
 - Depressão Sertaneja e de Paranaguá
 - Depressão do Meio-Norte
 - Planícies Fluviais e/ou Fluvioacústicas
 - Planícies Marinhas, Fluvioacústicas e/ou Fluvioacústicas
 - Chapada do Araripe
 - Patamar Sertanejo
 - Tabuleiros Costeiros
 - Planalto Sertanejo
 - Planalto da Ibiapaba
 - Planaltos Residuais Sertanejos

Base de Dados: Serviço Geológico do Brasil (CPRM)
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)

FIGURA 4.3 MAPA GEOMORFOLÓGICO DO ESTADO DO CEARÁ

RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO SEMIÁRIDO CEARENSE: ENTENDER PARA AUMENTAR A RESILIÊNCIA DE SUA POPULAÇÃO RURAL. ESTUDO DE CASO NOS MUNICÍPIOS DE ARNEIROZ, TAUÁ, CATARINA, SABOEIRO, AIUBA, PARAMBU

PROJETO: TRABALHO DE FORMATURA 2017

INSTITUIÇÃO: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ELABORADO: DANIELA BARBATI OSÓRIO
LUCAS HENRIQUE DE CARVALHO

DATA: JULHO DE 2017

4.3 Hidrogeologia do Estado do Ceará

Segundo Leal (1999), praticamente todos os países do mundo, desenvolvidos ou não, utilizam água subterrânea para suprir suas necessidades. Na África do Norte, China, Índia, Estados Unidos e Arábia Saudita, cerca de 160 bilhões de toneladas de água são retirados por ano e não se renovam. Grandes centros urbanos no Brasil dependem integral ou parcialmente da água subterrânea para abastecimento, tais como: Ribeirão Preto (SP), Mossoró e Natal (RN), Maceió (AL), Região Metropolitana de Recife (PE) e Barreiras (BA). No Maranhão, mais de 70% das cidades são abastecidas por águas subterrâneas, e em São Paulo e no Piauí esse percentual alcança 80%. Mesmo em casos de elevado teor salino, como nas áreas de ocorrência dos sistemas aquíferos fissurais do semiárido nordestino, as águas subterrâneas constituem, não raro, a única fonte de suprimento permanente (Leal, 1999). Segundo Neves (2005), em vários países em desenvolvimento da Ásia, América Latina e África, têm sido dada grande ênfase ao suprimento de água potável ao grande contingente de população que habita terrenos cristalinos (Figura 4.4).



Figura 4.4 Principais maciços cristalinos do Mundo (Singhal e Gupta, 1999, apud Neves, 2005).

O Ceará é caracterizado pela predominância do embasamento cristalino coberto por solos rasos em cerca de 75% do território estadual (Teixeira, 2004). Esse cenário favorece o regime intermitente dos rios e a baixa disponibilidade quantitativa e qualitativa de água subterrânea.

Segundo Medeiros et al. (2011), os aquíferos que ocorrem no Estado do Ceará podem ser enquadrados nos tipos intersticiais (Porosos), cárstico-fraturados e fraturados (Fissurais). A FUNCEME (2007) descreve que o estado do Ceará apresenta seis grandes domínios

hidrogeológicos, sendo cinco deles constituídos por sistemas aquíferos sedimentares intersticiais e somente um, o de maior extensão areal no Estado, é do tipo fissural (Figura 4.5, mapa hidrogeológico do Estado do Ceará)

De acordo com Silva et al. (2007), foi estimado em 2003 que existem cerca de 23.000 poços perfurados no Ceará, estando alguns em funcionamento desde 1903. Cerca de 63% desses poços estavam locados no embasamento cristalino, 29% em litologia sedimentar e o restante em aluviões e formações cársticas, sendo pelo menos 95% dos poços do tipo tubular. Além disso, Silva et al. (2007) consideram que cerca de 30% dos poços estão desativados ou abandonados, sugerindo a falta de planejamento para a instalação e a deficiência no suporte para exploração adequada. Os poços localizados no cristalino cearense possuem vazão específica em torno de 13% do valor observado em poços localizados em bacias sedimentares. Já a Assembleia Legislativa do Estado do Ceará (2008) informou que existirem mais de 32.000 poços cadastrados até o ano 2000, sendo que 54% foram perfurados em rochas cristalinas e 46% em rochas sedimentares.

4.3.1 Aquífero Fissural

Segundo Domenico e Schwartz (1990, apud Fiume, 2013, p. 17), nos aquíferos fissurais três parâmetros geométricos das fraturas são responsáveis pela configuração do fluxo da água: abertura, densidade e conectividade. Além disso, há três mecanismos de propagação das fraturas: extensional, com esforços de tração perpendiculares à superfície da fratura; cisalhamento, com deslizamento paralelo à frente de propagação; ou cisalhamento com deslizamento perpendicular à frente de propagação. As formas de propagação geram diferentes tipos de fraturas, sendo essas: fraturas extensionais; fraturas de cisalhamento; e fraturas híbridas. Em consequência, o fluxo da água subterrânea em aquíferos fissurais ocorre em fraturas individuais ou grupos de fraturas (abordagem do meio descontínuo), ou através da substituição do meio fraturado por um meio poroso representativo (abordagem do meio contínuo). Segundo Novakowski (1995, apud Fiume, 2013, p.20), a primeira é considerada mais eficaz do que a segunda, a qual precisa de valores de condutividade hidráulica, porosidade e compressibilidade definidos. Esse cenário é, principalmente, devido ao fato de que algumas fraturas individuais, ou zonas de fraturas estreitas, serem mais importantes para a alta produtividade em poços.

O embasamento cristalino do Estado do Ceará corresponde a cerca de 21% do total do cristalino nordestino (500.000km²) e apresenta, em princípio, baixo potencial de exploração, devido à baixa condutividade hidráulica (Manoel Filho, 2000 apud Silva et al., 2007, p. 137). O domínio dos aquíferos fissurais, que representam 75% da superfície do Estado, são constituídos por rochas cristalinas (ígneas e metamórficas). Assim, o

armazenamento de água no cristalino, litologia dominante no Ceará e que ocorre principalmente da região central do estado, é limitado, em razão da alta resistência à infiltração, que ocorre por meio de fraturas.

O semiárido do Ceará é caracterizado basicamente por rochas ígneas e, principalmente, rochas metamórficas. A água subterrânea acaba sendo aprisionada em fraturas e falhas interconectadas dessas rochas, que muitas vezes são descontínuas, com tamanhos e espessuras limitadas, gerando, na maioria das vezes, pequenos valores de vazão (CPRM, 2004). Morland (1997, apud Neves e Morales, 2000), descreve que a produtividade dos gnaisses é maior do que a dos metassedimentos e estes são apenas um pouco mais produtivos do que os granitos. Singhal e Gupta (1999, apud Neves e Morales, p.9) afirmam que a foliação também é um fator importante, o que significaria dizer que xistos deveriam ser mais produtivos do que granitos e gnaisses, já que neles a foliação é mais notável. Salienta-se que o manto de intemperismo formado a partir da alteração das rochas também tem sido apontado como importante fonte de recarga do aquífero fraturado (e.g. Lachassagne et al. 2001, apud Neves e Morales, 2000). Salienta-se que o cristalino (fissural) tem um comportamento anisotrópico e heterogêneo, possuindo permeabilidade e porosidade primárias praticamente nulas.

Os aquíferos cárstico-fissurais são encontrados na zona de ocorrência cearense da Bacia Potiguar e, com menor frequência, no Serra Grande e em zonas essencialmente carbonáticas (Medeiros et al., 2011). Os poços instalados na Formação Cárstica do Jandaíra atingem, em sua maioria, vazões superiores a 10 m³/h.

4.3.2 Aquífero Poroso

Segundo Silva et al. (2007), há também os aquíferos porosos que, em menores proporções, se situam em bacias sedimentares como as de Iguatu, do Apodi, do Araripe e da Ibiapaba. Medeiros et al. (2011) descreve que dentre os intersticiais destacam-se os existentes em bacias sedimentares (Sul, Leste e Oeste) e aqueles relacionados aos depósitos recentes com reduzidas espessuras e potencialidades hídricas, representados pelos aluviões e as coberturas sedimentares costeiras que ocorrem de maneira contínua ao longo da costa cearense.

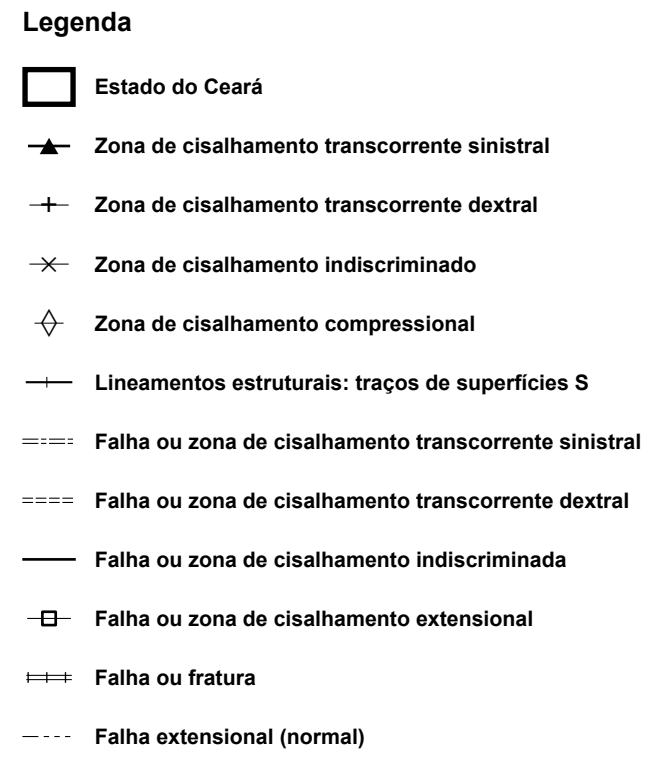
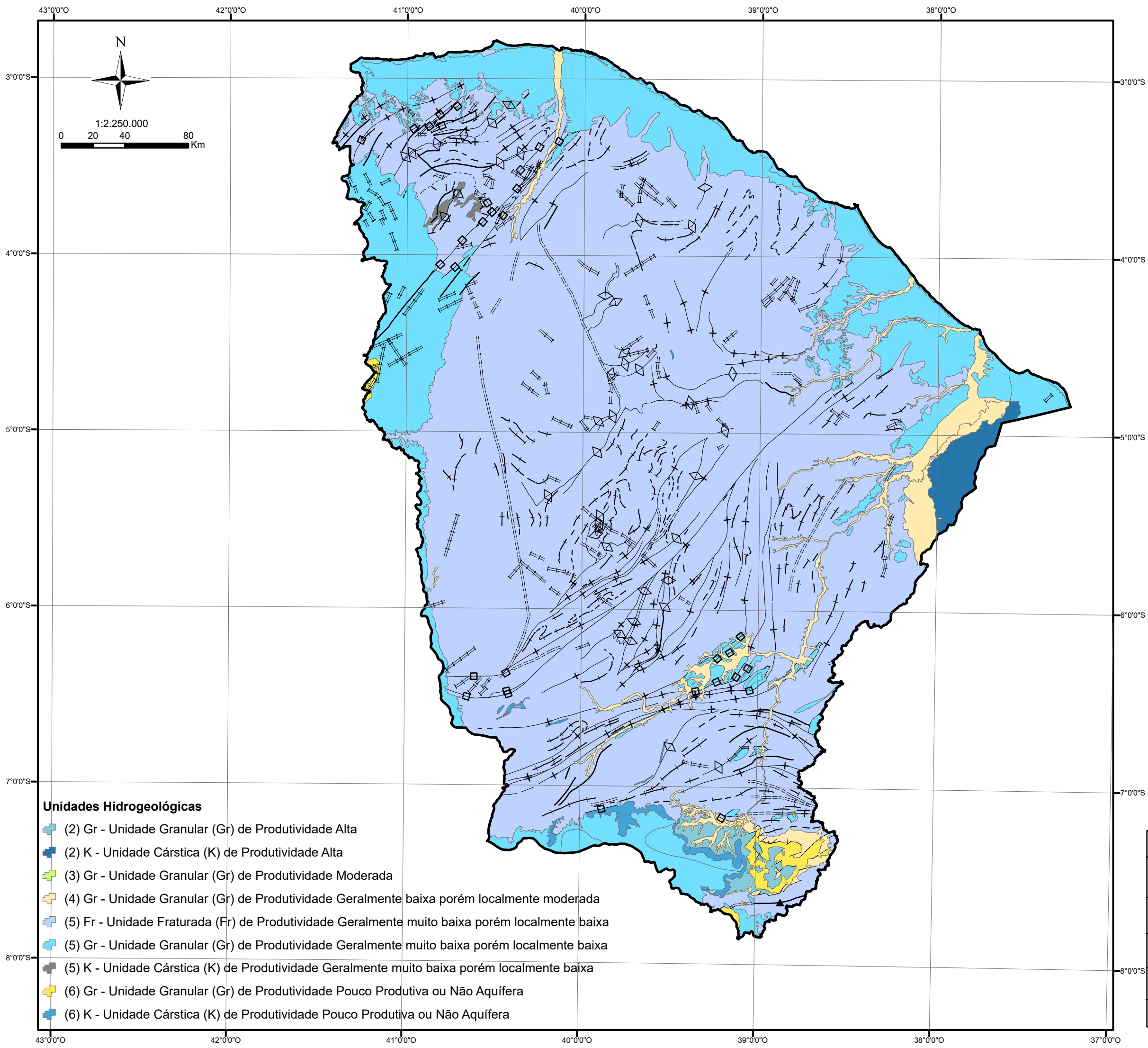
Segundo Medeiros et al. (2011), as bacias sedimentares interiores ocorrem em extensões menores, de forma descontínua, na região centro sul do Estado, no entorno do açude Orós. Os aquíferos intersticiais rasos estão presentes de maneira descontínua em manchas isoladas de reduzida espessura, capeando indistintamente as bacias sedimentares ou o embasamento cristalino. Os intersticiais de grandes espessuras de sedimentos ocorrem representando, particularmente, as Bacias do Apodi e do Araripe embora alguns ainda

permaneçam sem estudos hidrogeológicos detalhados, a exemplo daqueles que ocorrem na região do Iguatu.

De acordo com a FUNCEME (2007) os aquíferos da Bacia Sedimentar do Araripe localizam-se na Chapada do Araripe e no Vale do Cariri, no Sul do Estado. As principais unidades aquíferas são representadas pelos sedimentos da Formação Exu (topo da Chapada) e das Formações Rio da Batateira (aflorante no Vale), Mauriti e Missão Velha. Este sistema apresenta uma vazão média dos seus poços da ordem de 6,10 m³/h.

Já os aquíferos da Bacia Sedimentar Potiguar, que no Ceará formam a Chapada do Apodi, localizados a Leste do Estado, são considerados os de maior potencial hidrogeológico (FUNCEME, 2007). O aquífero da Formação Açu expõe poços com vazões superiores a 80 m³/h (média de exploração no Rio Grande do Norte). Ainda conforme a FUNCEME (2007), na região costeira, ao norte do estado, ocorrem os aquíferos formados pelo Grupo Barreiras e os sedimentos litorâneos recentes (praias e Dunas), sendo as vazões médias, nos poços que exploram os sedimentos costeiros, em torno de 5 m³/h. Esses aquíferos corriqueiramente apresentam problemas de exploração desordenada e que tem como consequência a salinização advinda do avanço da cunha salina.

O aquífero da Bacia Sedimentar do Parnaíba é composto por arenitos mais ou menos arcossianos do Grupo Serra Grande, que formam a Chapada da Ibiapaba, zona oeste do Estado, e apresenta poços com vazão média de 4,2 m³/h (FUNCEME, 2007). A Bacia de Iguatu é caracterizada por ser a única bacia sedimentar interior do Ceará. Ela é formada por um grupo de pequenas bacias isoladas e localizadas próximas à confluência do rio Salgado com o rio Jaguaribe. Os aquíferos dessa região são constituídos por arenitos do Grupo Rio do Peixe e a vazão média dos poços é na ordem de 7 m³/h. (IBGE, 1999, apud FUNCEME, 2007, p 134).



**Base de Dados: Serviço Geológico do Brasil (CPRM)
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)**

FIGURA 4.5 MAPA HIDROGEOLÓGICO DO ESTADO DO CEARÁ
RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO SEMIÁRIDO CEARENSE: ENTENDER PARA AUMENTAR A RESILIÊNCIA DE SUA POPULAÇÃO RURAL. ESTUDO DE CASO NOS MUNICÍPIOS DE ARNEIROZ, TAUÁ, CATARINA, SABOEIRO, AIUBA, PARAMBU
PROJETO: TRABALHO DE FORMATURA 2017
INSTITUIÇÃO: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ELABORADO: DANIELA BARBATI OSÓRIO LUCAS HENRIQUE DE CARVALHO
DATA: JULHO DE 2017

- Unidades Hidrogeológicas**
- (2) Gr - Unidade Granular (Gr) de Produtividade Alta
 - (2) K - Unidade Cárstica (K) de Produtividade Alta
 - (3) Gr - Unidade Granular (Gr) de Produtividade Moderada
 - (4) Gr - Unidade Granular (Gr) de Produtividade Geralmente baixa porém localmente moderada
 - (5) Fr - Unidade Fraturada (Fr) de Produtividade Geralmente muito baixa porém localmente baixa
 - (5) Gr - Unidade Granular (Gr) de Produtividade Geralmente muito baixa porém localmente baixa
 - (5) K - Unidade Cárstica (K) de Produtividade Geralmente muito baixa porém localmente baixa
 - (6) Gr - Unidade Granular (Gr) de Produtividade Pouco Produtiva ou Não Aquífera
 - (6) K - Unidade Cárstica (K) de Produtividade Pouco Produtiva ou Não Aquífera

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Revisão bibliográfica

O levantamento bibliográfico foi feito em temas do semiárido cearense e água subterrânea que englobam: os aspectos geológicos e hidrogeológicos; a produtividade dos poços locados no embasamento cristalino; o uso e a disponibilidade de água subterrânea; entre outros. Para isso foram utilizados materiais públicos, disponibilizados, principalmente, pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (CPRM/SIAGAS), Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretária de Recursos Hídricos (SRH), PAD.

Adicionado a isso, as bases cartográficas da área de estudo incluíram mapas geológicos, topográficos e geomorfológicos, entre outros. Os bancos de dados disponibilizados, principalmente, pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional do Semiárido (INSA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (IMPE) foram úteis para a obtenção dessas informações.

5.2 Compilação do Mapa Geológico-Estrutural

O mapeamento geológico-estrutural permitiu identificar as características estruturais que afetam as propriedades hidráulicas dos aquíferos. Para a área de rochas pré-cambrianas, a compartimentação em blocos geológicos, delimitados por zonas de cisalhamento, permite a identificação de zonas de diferentes potenciais de produção de água (Fernandes et al, 2007). Ademais foram analisados outros fatores, tais como litologia, densidade e intersecção de lineamentos e topografia. As análises supracitadas foram aplicadas na área de estudos, onde ocorrem maiores densidades de lineamentos e diversidade de capacidade específica, com base nos dados coletados previamente no banco de dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) e PAD, bem como os dados geológicos disponibilizados pela CPRM. Salienta-se que para a análise foram considerados apenas os poços locados no aquífero fissural e regiões onde o embasamento cristalino é predominante.

A metodologia aplicada neste estudo foi baseada da proposta na Tese de Doutorado de Fernandes (1997), na qual foram analisados as principais direções regionais e os padrões de lineamentos. Além disso, no estudo citado, foram avaliados os valores de capacidade específica segundo duas abordagens: a primeira onde os fatores que supostamente controlam a variação da produção de poços em aquíferos fraturados, que são avaliados de uma forma regional para a área como um todo; e a outra, denominada de análise de domínios tectônicos, onde se consideram os eventos tectônicos rúpteis mais atuantes em pequenas áreas pré-selecionadas. Desta forma, Fernandes (1997) aponta que na primeira abordagem foram considerados os seguintes fatores: proximidade com relação a lineamentos, litologia explorada, espessura de manto inconsolidado saturado, compartimento topográfico, e

aspectos construtivos dos poços. Fernandes (1997) avaliou a proximidade dos poços com relação a lineamentos a partir de fotografias aéreas, somada à interpretação para o traçado das feições lineares.

A técnica utilizada para a elaboração de mapas do traçado de lineamentos estruturais da região foi feita com ArcGIS 10.4. A fotografia utilizada foi a disponibilizada pelo próprio programa, que apresenta como fonte as seguintes instituições: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, e a GIS User Community.

5.3 Modelo Digital de Terreno

O Modelo Digital de Terreno (MDT) trata de uma representação matemática espacial vinculada a uma superfície real. As informações retiradas desse tipo de modelo digital foram fundamentais para o projeto, já que trazem informações importantes de relevo, geomorfologia e geológico.

Utilizando a plataforma Earth Explorer do United States Geological Survey (USGS), foi possível adquirir imagens do satélite SRTM 1 Arc-Second Global para a área de detalhe. As imagens escolhidas para a áreas de detalhe são de setembro de 2014, período de seca na região de Arneiroz.

Esse conjunto de imagens foi coletado pelo satélite Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) que foi gerenciado pela *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* e a *National Geospatial-Intelligence Agency (NGA)*, com a finalidade de adquirir dados de radar e gerar o primeiro conjunto quase que global de elevações da Terra (USGS, 2015). Com resultado, foram obtidos dados topográficos digitais para cerca de 80% da superfície terrestre, com valores a cada 30 metros em uma grade de Longitude e Latitude. A precisão vertical dos dados de elevação gira em torno de 16 metros e 90% de confiança (USGS, 2015).

Devido ao tamanho do polígono delimitado para a área de detalhe, foram necessárias duas imagens SRTM disponibilizadas pelo Earth Explorer. Essas imagens foram introduzidas na plataforma ArcGIS e precisaram passar por um tratamento prévio, antes de atingir o MDT final.

Inicialmente, as imagens precisaram ser unidas pela ferramenta *Mosaic* que combina múltiplos conjuntos de *raster* em um único existente, minimizando as mudanças abruptas que podem ocorrer nos limites de cada *raster*.

Feito isso, a imagem foi cortada no tamanho correto do polígono da Área de Estudo pela ferramenta *Extract by Mask*.

Por fim, utilizando a ferramenta *Hillshade*, foi possível gerar o Modelo Digital de Terreno. Essa ferramenta cria uma iluminação artificial para a área a partir dos valores de iluminação obtidos pelo satélite SRTM, relacionando o valor com as células vizinhas.

5.4 Tratamento de Dados Hidrogeológicos

Nessa etapa os dados de captação de água subterrânea, disponibilizados pelo MMA e Secretária de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano (SRHU) dentro do convênio com o CEPAS|USP, foram analisados junto àqueles de acesso on-line no website da CPRM e no cadastro estadual de poços. Dentro do projeto do CEPAS|USP foram digitalizados e compilados mais de 17 mil poços inseridos na região do semiárido cearense através da ferramenta Excel disponível no Microsoft Office. Um recorte aos poços dos municípios estudados foi feito e uma base de dados específica, com 220 poços, foi criada no mesmo programa.

Os dados já levantados foram adicionados em uma plataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para a criação de novos mapas temáticos e estudos de produção de poços e sua distribuição no espaço. Para isso, foi utilizada a ferramentas de geoprocessamento ArcGis 10.4.1.

Para a análise de lineamentos estruturais foi utilizado o software Oriana que permitiu a elaboração de diferentes diagramas de rosáceas. Para isso, foram inseridos 197 dados de lineamentos.

6. RESULTADOS

6.1 Área de estudo

A área de estudo compreende os municípios de Arneiroz, Tauá, Catarina, Saboeiro, Aiuba e Parambu (Figura 6.1). A região delimitada está inserida em contexto geológico que as rochas cristalinas recobrem o polígono, ou seja, os poços ali instalados foram alocados em aquíferos fraturados. Por mais que os dados disponibilizados apresentem algumas lacunas, a região apresentou uma significativa quantidade de poços instalados, sendo 201 poços do banco de dados do SIAGAS e 19 do PAD, totalizando 220 poços. Dentre eles, apenas 109 foram considerados por apresentarem valores de nível estático, nível dinâmico e vazão de estabilização. Além disso, esta área foi selecionada por apresentar a melhor variabilidade de capacidade específica dentre as outras delimitadas, ou seja, esperava-se que relações com os diferentes valores de vazão específica sejam relacionados com os lineamentos traçados, topografia e litologia.

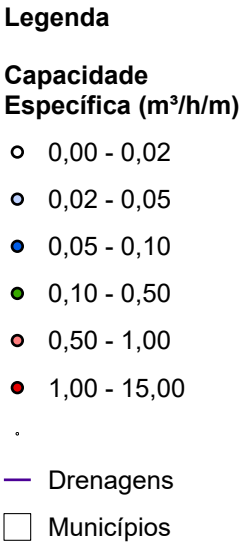
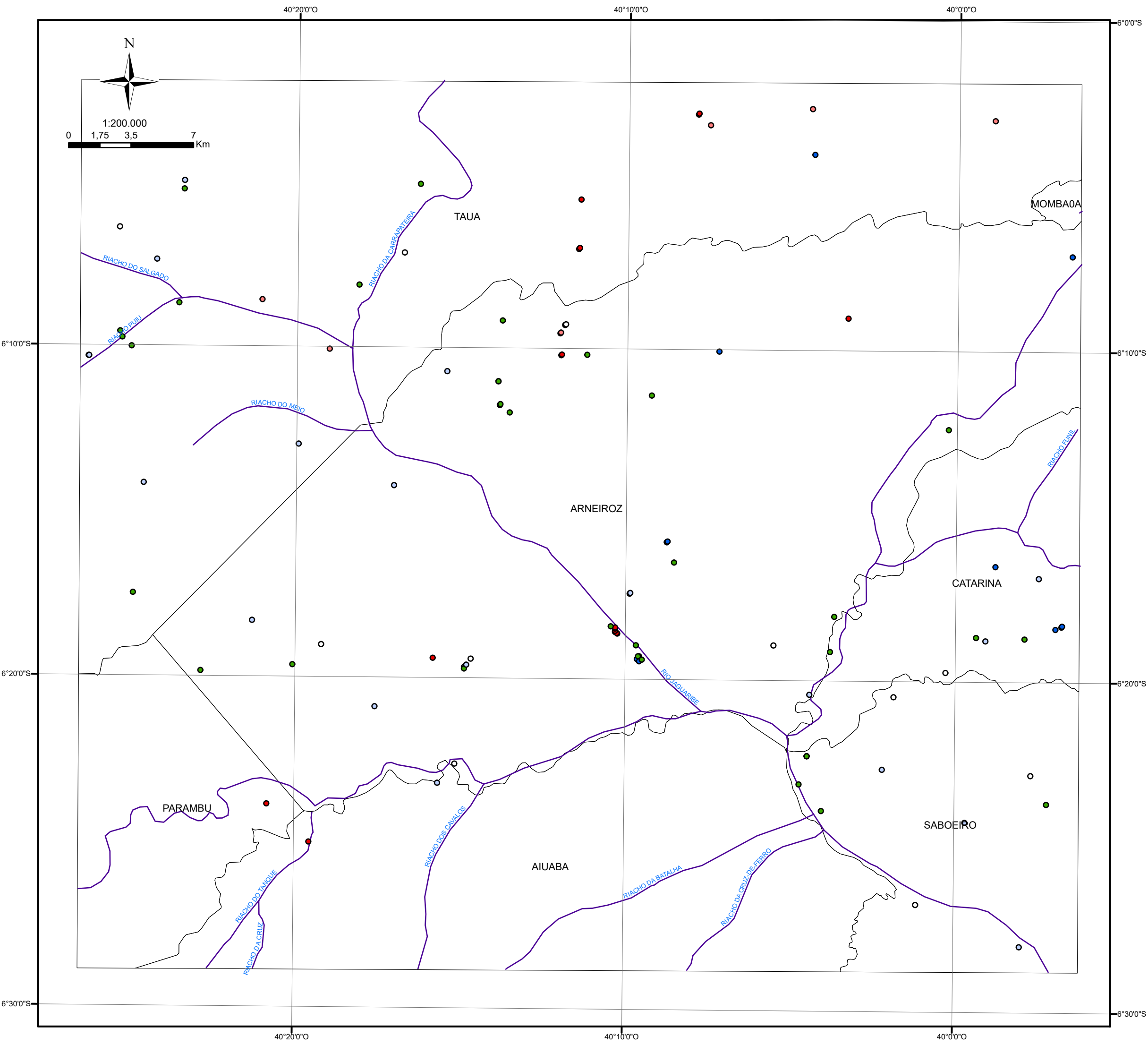
6.2 Geomorfologia da área de estudo

Além de auxiliar na definição dos lineamentos da região, o Modelo Digital de Terreno da área de detalhe (Figura 6.2) permitiu diferenciar três feições geomorfológicas distintas:

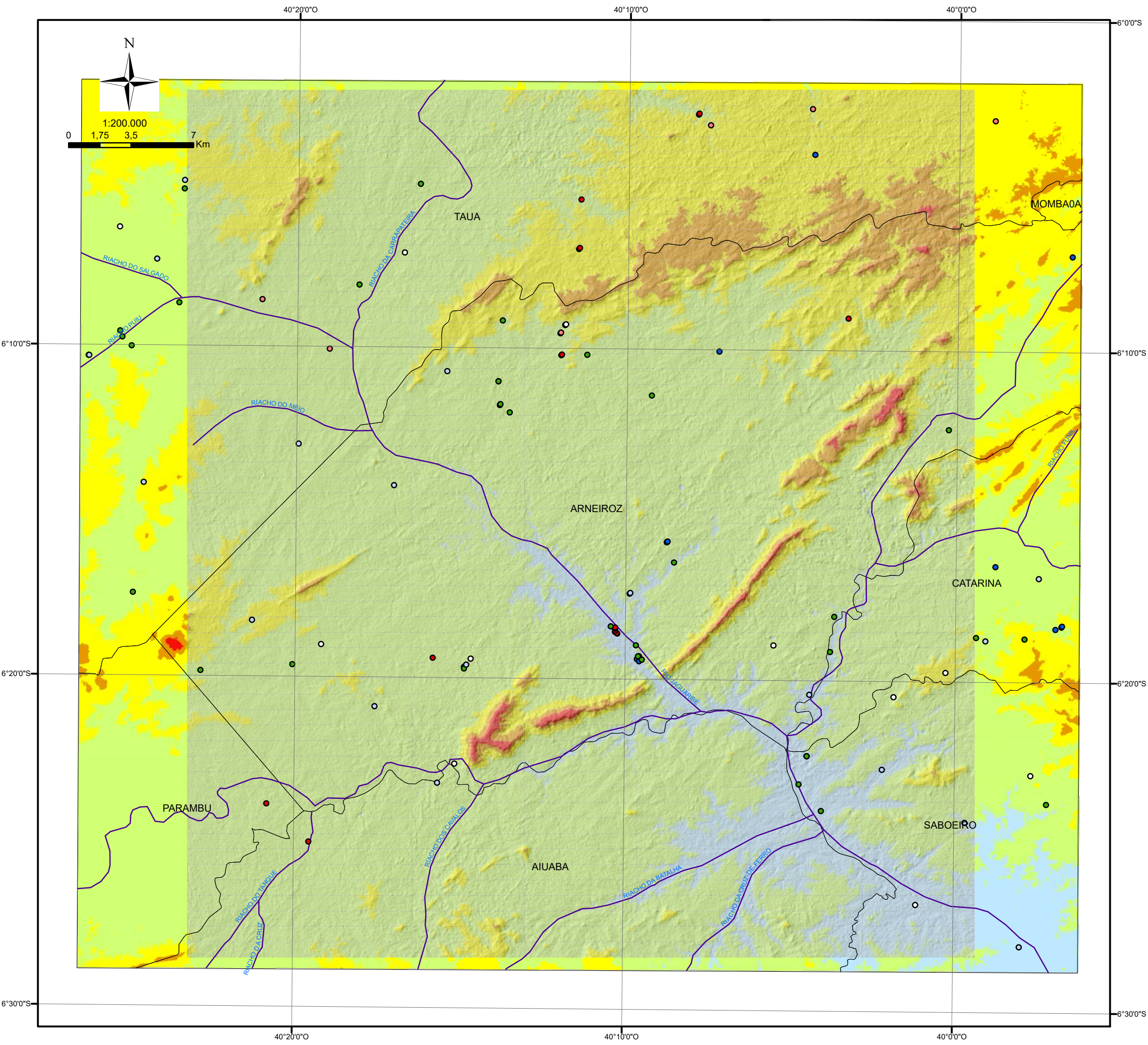
- Vales topográficos: possuem valores de topografia entre 260 e 440 m e são representadas no mapa pelas cores azul e verde.
- Encostas: são representadas pelos valores entre 440 a 540 m de cota topográfica e aparecem em amarelo.
- Topo de Serras: são representadas pelos valores entre 540 a 720 m e aparecem nas cores laranja e vermelho.

Utilizando o MDT foi possível averiguar que, principalmente, o relevo dos vales é controlado pela erosão fluvial, principalmente. O Rio Jaguaribe e seus afluentes se destacam com orientação principal NW-SE nessa região e estão inseridos na região mais aplainada do mapa, cortando por vezes, algumas serras, como fica claro na porção central do mapa. Nota-se também, um alinhamento entre as serras mais elevadas da porção leste da área, que se direcionam para sudoeste.

A Figura 6.2 apresenta os valores de capacidade específica dos poços.



Base de Dados: Serviço Geológico do Brasil (CPRM) Instituto Nacional do Semiárido (INSA) United States Geological Survey (USGS)	
FIGURA 6.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO ENGLOBANDO OS MUNICÍPIOS DE INTERESSE	
RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO SEMIÁRIDO CEARENSE: ENTENDER PARA AUMENTAR A RESILIÊNCIA DE SUA POPULAÇÃO RURAL. ESTUDO DE CASO NOS MUNICÍPIOS DE ARNEIROZ, TAUÁ, CATARINA, SABOEIRO, AIUBA, PARAMBU	
PROJETO: TRABALHO DE FORMATURA	
INSTITUIÇÃO: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO	
ELABORADO: DANIELA BARBATI OSÓRIO LUCAS HENRIQUE DE CARVALHO	
DATA: OUTUBRO DE 2017	



Base de Dados: Serviço Geológico do Brasil (CPRM) Instituto Nacional do Semiárido (INSA) United States Geological Survey (USGS)
FIGURA 6.2 MODELO DIGITAL DE TERRENO E GEOMORFOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO
RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO SEMIÁRIDO CEARENSE: ENTENDER PARA AUMENTAR A RESILIÊNCIA DE SUA POPULAÇÃO RURAL. ESTUDO DE CASO NOS MUNICÍPIOS DE ARNEIROZ, TAUÁ, CATARINA, SABOEIRO, AIUBA, PARAMBU
PROJETO: TRABALHO DE FORMATURA
INSTITUIÇÃO: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ELABORADO: DANIELA BARBATI OSÓRIO LUCAS HENRIQUE DE CARVALHO
DATA: OUTUBRO DE 2017

6.3 Geologia da Área de Estudo

A área de estudo está inserida no contexto geológico da Província Borborema, mais precisamente na Zona Setentrional e no Subdomínio Ceará Central. Segundo Hasui (2012), os seus aspectos mais importantes, em relação à geologia, estão relacionados com o decorrer do Evento Orós-Jaguaribe (1,8 – 1,6 Ga) e do Ciclo Brasileiro (900 – 450 Ma). Para a região em questão, foi gerado o Mapa Geológico da Área de Detalhe (Figura 6.3). Nesse capítulo serão descritas as principais unidades geológicas e as principais características tectônicas da região.

Uma das feições mais características preservadas do ciclo Brasileiro são as zonas de cisalhamento transcorrente com direção preferencial NE e algumas inflexões para E-W (Hasui, 2012). Segundo o mesmo autor, os corpos litológicos presentes aparecem em faixas, lentes e sigmoides que, normalmente, alinham-se com a orientação principal do cisalhamento. Por outro lado, algumas áreas apresentam irregularidades na orientação, como acontece com o contorno do batólito Tamboril-Santa Quitéria (presente na área de detalhe), em que as estruturas estão alocadas em diferentes orientações.

Grande parte central da área é representada por rochas Arqueanas do Complexo Cruzeta, formado pelas unidades Mombaça, Pedra-Branca e Troia (Hasui, 2012), sendo que as duas primeiras Unidades se encontram na área de estudo. Essas unidades foram formadas há 3,7 Ma e foram afetadas por processos metamórficos de médio a alto grau, migmatização e deformações que geraram empurrões e zonas de cisalhamento com direção NE e falhas Transcorrentes NW sinistrais (Silva et al., 2002, apud Hasui, 2012).

A unidade Mombaça é representada por ortognaisses, migmatitos e anfibolitos, principalmente. Já a Unidade Pedra Branca apresenta gnaisses tonalíticos e granodioríticos, com enclaves de metamagitos e metaultramáficos. Por fim, a Unidade Tróia é composta por paragnaisses, micaxistos, formações ferríferas, quartzitos. Para todas essas unidades é possível notar um estiramento NE-SW, acompanhando a orientação principal.

Ainda na porção central do mapa, a Unidade Arneiroz, que aparece alongada na direção NE, é representada por micaxistos, metacalcários e paragnaisses que algumas vezes estão migmatizados. Essa unidade, junto com as Unidades Quixeramobim, e Independência compõe o Complexo Ceará. Adicionado a isso, a Unidade Acopiara (parte central do mapa), formada por ortognaisses e paragnaisses migmatíticos, muitas vezes é englobada ao Complexo Ceará, porém existe a necessidade de estudos geocronológicos mais detalhados para confirmar essa teoria (CPRM, 2008).

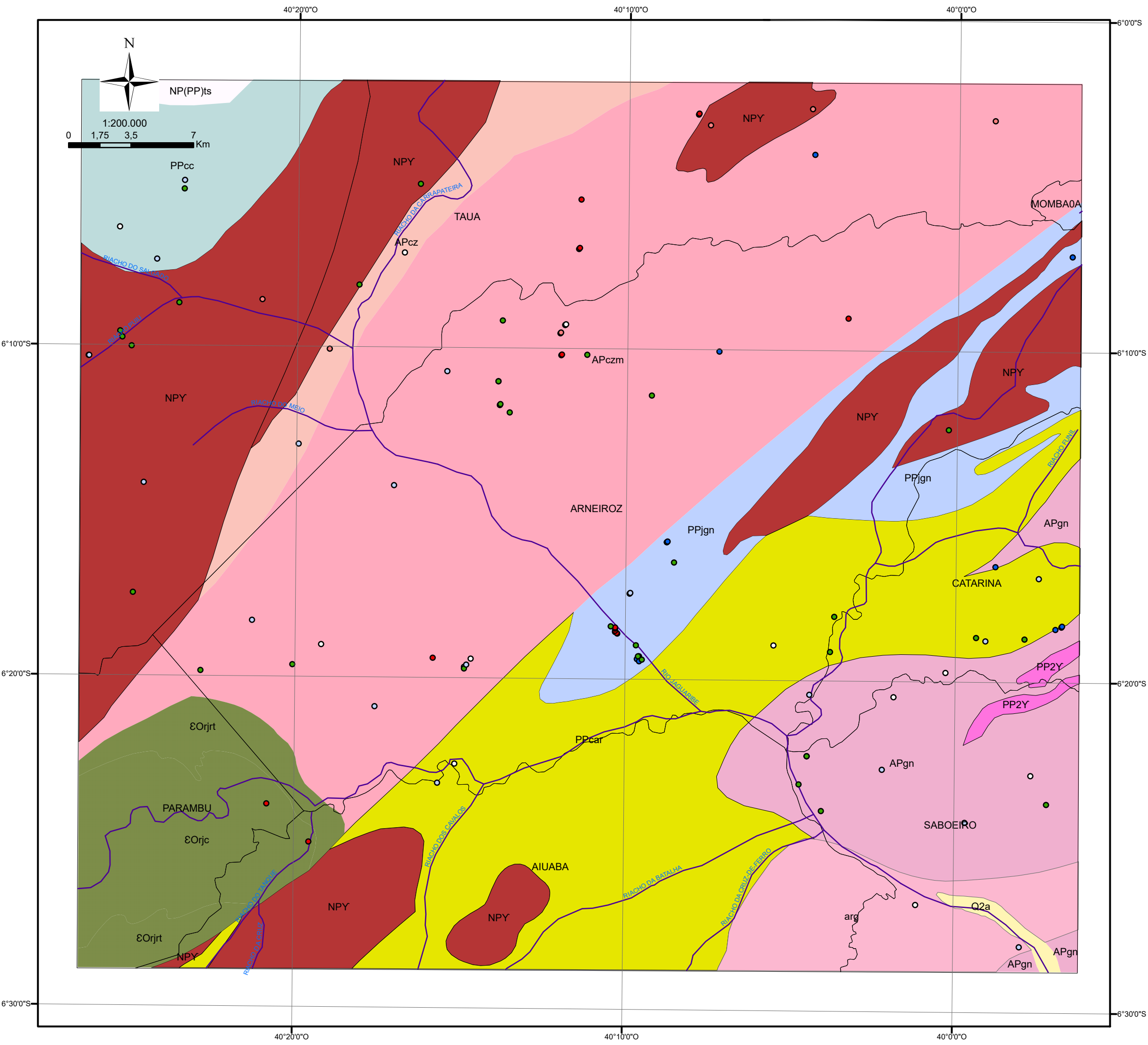
Em relação ao Complexo Ceará, Arthaud (2007, apud Hasui, 2012) elaborou um modelo evolutivo que trouxe informações importantes para esse tema que sempre foi muito controverso entre os diferentes pesquisadores. Durante muito tempo acreditou-se que o Complexo Ceará teve sua origem no Paleoproterozoico, porém novas datações confirmaram a sua formação durante o Neoproterozoico (Arthaud, 2007, apud Hasui, 2012).

Os processos tectônicos ocorreram durante 650 e 750 Ma e foram responsáveis pelo metamorfismo de alto grau, processos de migmatização, deformações e intrusões de granitoides (Arthaud, 2007, apud Hasui, 2012). Ainda segundo o mesmo autor, a tectônica foi transcorrente, gerando zonas de cisalhamento com direção NE e algumas de menores proporções com direção NW.

Entre os períodos 660 a 530 Ma diferentes pulsos magmáticos geraram o batólito de Santa Quitéria, localizado na porção noroeste do mapa (Arthaud, 2007, apud Hasui, 2012). Essa Unidade é formada por associações granito-migmatíticas fortemente deformados.

Por fim, na porção sudoeste aparecem as unidades sedimentares Angico Torto e Cococi que correspondem ao Grupo Rio Jucá (CPRM, 1998). A primeira unidade corresponde a porção mais basal do Grupo e apresenta conglomerados polimíticos, brechas e arenitos conglomeráticos. Já a segunda, encontra-se sobre a Angico Torto por meio de um contato do tipo gradacional e seus tipos litológicos mais comuns são siltitos, folhelhos, ardósias e argilitos. A última unidade que compõe o Grupo Rio Juca é a Formação Melancia, que não se encontra no mapa, mas representa a porção mais superior do Grupo formada por conglomerados e brechas.

Os lineamentos foram traçados em diferentes escalas para que os dados fossem mais precisos e de melhor qualidade (Figura 6.4). Vale ressaltar que as informações de lineamentos aqui levantados, são suficientemente extensas para serem identificados nessa imagem.



Legenda

- Área de detalhe
- Municípios do estado do Ceará

Legenda

Capacidade Específica (m³/h/m)

- 0,00 - 0,02
- 0,02 - 0,05
- 0,05 - 0,10
- 0,10 - 0,50
- 0,50 - 1,00
- 1,00 - 15,00

- Drenagens
- Municípios

Base de Dados: Serviço Geológico do Brasil (CPRM)
Instituto Nacional do Semiárido (INSA)
United States Geological Survey (USGS)

FIGURA 6.3 MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA DE DETALHE
RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO SEMIÁRIDO CEARENSE: ENTENDER PARA AUMENTAR A RESILIÊNCIA DE SUA POPULAÇÃO RURAL. ESTUDO DE CASO NOS MUNICÍPIOS DE ARNEIROZ, TAUÁ, CATARINA, SABOEIRO, AIUBA, PARAMBU
PROJETO: TRABALHO DE FORMATURA
INSTITUIÇÃO: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ELABORADO: DANIELA BARBATI OSÓRIO LUCAS HENRIQUE DE CARVALHO
DATA: OUTUBRO DE 2017

Grupo Rio Jucá	Q2a	Depósitos aluviais (localmente coluviais): argilas, areias argilosas, quartzosas e quartzofeldspáticas, conglomeráticas ou não, cascalhos e argilas orgânicas / fluvial, em parte com influência marinha.
	εOrjc	Formação Cococi: ardósias, folhelhos, argilitos e siltitos calcíferos, de tons cinzentos e chocolates, com intercalações esporádicas de arenitos grossos e conglomerados; ardósia cinzenta em zona de cisalhamento / fluvial.
	εOrjt	Formação Angico Torto: : conglomerados polimíticos, brechas, arcóseos, subarcóseos e arenitos litofeldspáticos, geralmente duros e compactos, às vezes calcíferos, com intercalações de arenitos mais finos, siltitos e argilitos, no topo; tonalidade preferencial entre nacarada e avermelhada / fluvial.
	NPY	Granitóides diversos: biotita-granitos, monzogranitos, sienitos, quartzomonzonitos e granitos porfiríticos, em parte somados num mesmo espaço cartografado. NP(?) g- granitóides de cronologia NP duvidosa.
Complexo Ceará	NP(PP)ts	Complexo Tamboril-Santa Quitéria: associação granito-migmatítica, envolvendo granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, de granulação variável até termos porfiríticos, gnaissificados ou não, em jazimentos de geometrias e dimensões diversas; para e ortognaisses migmatíticos, além de rochas calcissilicáticas, anfibolitos e, localmente, rochas ferríferas e metaultramáficas (relacionadas, no geral, ao Complexo Ceará e sendo, as primeiras, freqüentes como enclaves dos granitóides); ts - granitóides dominantes (corpos menores fotointerpretados); ts o - ortognaisse facoidal milonítico. NP(PP) c - conjunto similar ao NP(PP) ts.
	PP2Y	Ortognaisses granito-granodioríticos, acessoriamente tonalíticos, em parte facoidais e/ou associados a migmatitos.
	PPcc	Unidade Canindé: paragnaisses em níveis distintos de metamorfismo-migmatização, incluindo ortognaisses ácidos (p.ex: em cogn) e rochas metabásicas: c - metagabros, anfibolitos com ou sem granada, e gnaisses dioríticos, associados ou não a enderbitos; c1 - metagabros e metaultramáficas serpentinizadas e xistificadas, lentes de quartzitos (cq), metacalcários (cca), rochas calcissilicáticas (ccs), formações ferríferas (cfe) e ferro-manganesíferas, além de metaultramáficas (c); cgnl - granulitos máficos, enderbitos e leptinitos; caf - anfibólio gnaisses e/ou anfibolitos; PP(NP)cc - tratos onde são comuns os jazimentos estratóides e diqueiformes de granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, gnaissificados ou não e, em parte, facoidais.
	PPcar	Unidade Arneiroz: paragnaisses diversos, em parte migmatíticos, e micaxistos, encerrando jazimentos de dimensões variadas de quartzitos (arq - quartzitos + micaxistos), metacalcários (arca), rochas calcissilicáticas, anfibolitos e talcoxistos; arg - predomínio de paragnaisses; arq - quartzitos, micaxistos e metavulcânicas básicas, em níveis distintos de deformação milonítica.
Complexo Cruzeta	PPj	Complexo Jaguaretama: ortognaisses migmatizados, composição entre granito e tonalito, com paragnaisses, anfibolitos, quartzitos, metaultramáficas e rochas calcissilicáticas (PPjgn - segmento com importante participação desses matamorfitos de derivação sedimentar, incluindo lentes de metacalcários (jca).
	APgn	Ortognaisses granito-granodioríticos de tonalidade cinzenta, incluindo leucogranitóides gnáissicos, migmatitos e lentes de rochas anfibolíticas.
	APcz	Indiferenciado: domínio de ortognaisses cinzentos (TTG), paragnaisses e migmatitos, encerrando lentes de anfibolitos/metabasaltos, metagabros, metaultramáficas, metacalcários, micaxistos, gonditos, formações ferríferas/itabiritos (czit) e rochas calcissilicáticas.
	APczm	Unidade Mombaça: ortognaisses granodioríticos, graníticos e tonalíticos, geralmente cinzentos, e migmatitos, dominando sobre anfibolitos, metagabros, metaultramáficas, charnockitos (raros), metacalcários e rochas calcissilicáticas (czm - segmento com importante participação de ortognaisses granodioríticos paleoproterozóicos).

6.4 Análise de lineamentos

Este capítulo traz o Mapa de Lineamento da Área de Detalhe (Figura 6.5) gerado a partir do Modelo Digital de Terreno, da Imagem Aérea da Área e de informações levantadas na bibliografia disponível. Essas informações possibilitaram traçar 197 estruturas distintas, e o uso integrado deles diminuiu as interferências e interpretações equivocadas que podem ocorrer durante esta etapa. É importante ressaltar que as diferentes feições dos lineamentos são distinguidas considerando apenas a interpretação visual.

Com base na Figura 6.5, foram identificadas duas direções preferenciais das estruturas na região. De um modo geral, as estruturas com direção NE aparecem mais significativamente ao longo do mapa em maiores extensões, porém, importantes estruturas com direção NW sobrepõem à porção mais a oeste do mapa, principalmente.

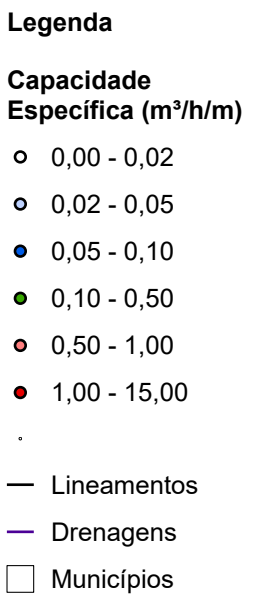
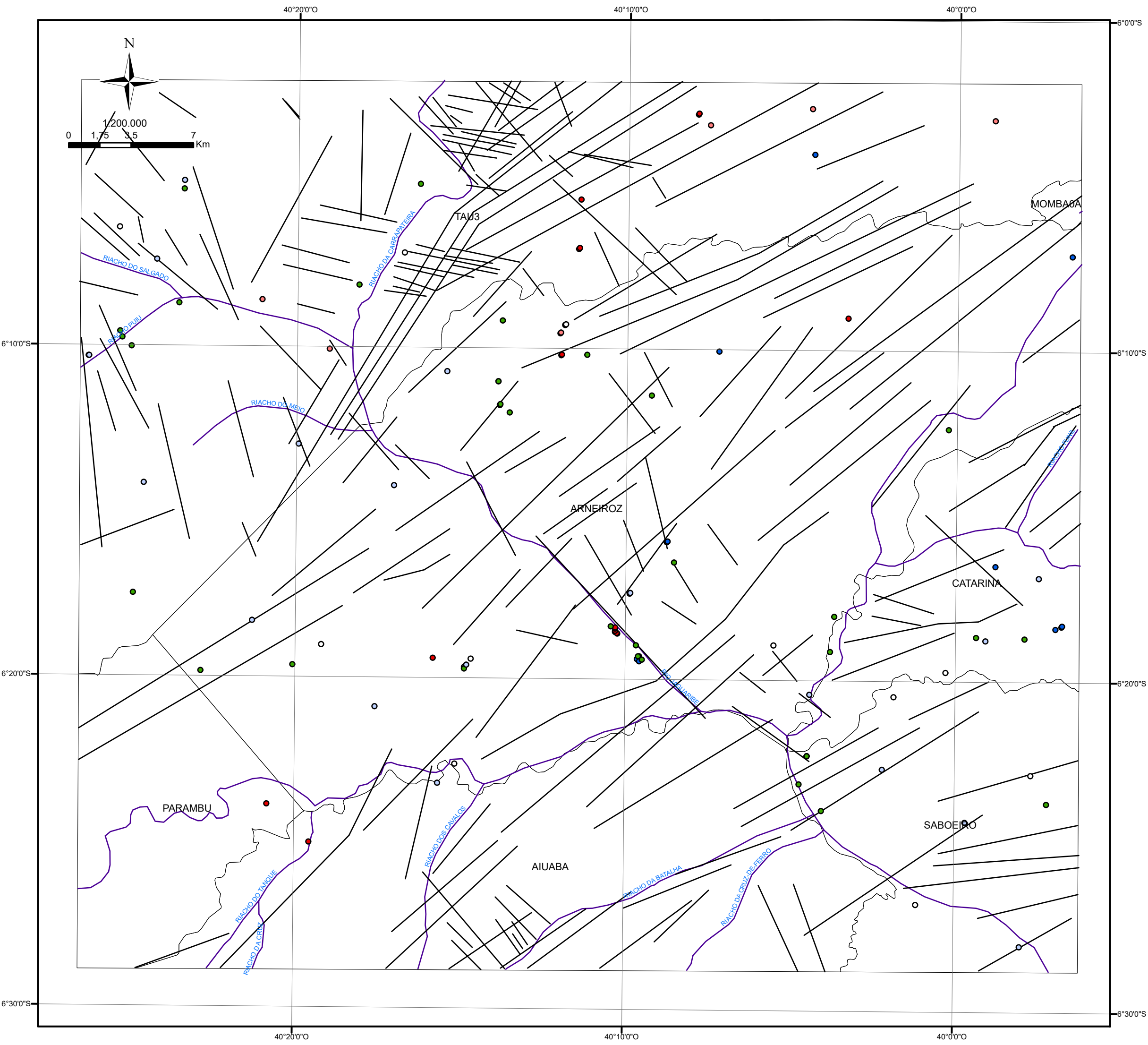
Além disso, foi observado que os lineamentos são influentes no curso de das drenagens, principalmente na porção do Rio Jaguaribe e seus afluentes. A maior parte dessas drenagens está inserida em rochas Pré-Cambrianas e na proximidade da zona de serra, os relevos tendem a ser mais acidentados, os solos menos espessos e menos permeáveis, resultando em cursos d'água mais sinuosos.

Diferentes autores trazem que as principais estruturas da região estão inseridas na porção das rochas Arqueanas e possuem orientação principal NE-SW e outras de menor expressão orientadas NW-SE, o que condiz com os lineamentos observado junto ao Mapa Geológico da Área de Detalhe.

Hasui (2012) apresentou que as rochas arqueanas representadas Pelo Complexo Cruzeta (Mombaça e Pedra Branca) foram afetadas por metamorfismos de média a alto grau durante o Evento Brasileiro, o que acarretou a zonas transcorrentes de direções NE e falhas transcorrentes de direção NW.

Adicionado a isso, como foi descrito por Hasui (2012), algumas regiões podem apresentar orientação diferente devido as intrusões magmáticas do período Neoproterozóico. Nas proximidades do Batólito Tabomril-Santa Quitéria (porção noroeste do Mapa Geológico da Área de Detalhe), os lineamentos aparecem com *trend* NW-SE e vão se dispersando conforme se afastam do batólito.

Ainda nas rochas do Neoproterozóico, as Unidades Arneiroz e Acopiara mostram a mesma orientação preferencial das rochas do Complexo Cruzeta e, segundo Arthaud (2007, apud Hasui, 2012), os eventos tectônicos foram de caráter transcorrente que gerou zonas de cisalhamentos de Direção NE, que conforme os lineamentos observados na região.



Base de Dados: Serviço Geológico do Brasil (CPRM) Instituto Nacional do Semiárido (INSA) United States Geological Survey (USGS)	
FIGURA 6.5 MAPA DE LINEAMENTOS DA ÁREA DE DETALHE	
RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS NO SEMIÁRIDO CEARENSE: ENTENDER PARA AUMENTAR A RESILIÊNCIA DE SUA POPULAÇÃO RURAL. ESTUDO DE CASO NOS MUNICÍPIOS DE ARNEIROZ, TAUÁ, CATARINA, SABOEIRO, AIUBA, PARAMBU	
PROJETO: TRABALHO DE FORMATURA	
INSTITUIÇÃO: INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO	
ELABORADO: DANIELA BARBATI OSÓRIO LUCAS HENRIQUE DE CARVALHO	
DATA: OUTUBRO DE 2017	

A Figura 6.5 também apresenta os valores de capacidade específica.

Em relação ao relevo, nota-se que os lineamentos estão associados, em grande parte, as regiões de serras, como é visto na porção nordeste do Modelo Digital de Terreno (Figura 6.2). Além disso, as drenagens comumente estão associadas aos lineamentos, como mostra o Rio Jaguaribe e seus afluentes.

O Rio Jaguaribe está inserido, principalmente, nos lineamentos com orientação preferencial NE. Já os seus afluentes, muitas vezes aparecem associados a ambas direções de lineamentos e sofrem mudanças bruscas nas suas direções, como mostra o Riacho da Carrapateira na porção norte da Área de Detalhe.

Ainda neste capítulo, para auxiliar na compreensão da quantidade e dimensões dos lineamentos, dois diagramas de rosáceas foram produzidos. O primeiro (Figura 6.6) apresenta a frequência da direção dos lineamentos e o segundo (Figura 6.7) traz a frequência da direção dos lineamentos distribuídos segundo o comprimento dos mesmos.

Esses diagramas foram produzidos no *software* Oriana desenvolvido pela Kovach Computing Services. Para isso foram extraídos os azimutes e os comprimentos de cada um dos lineamentos pelo ArcGIS 10.4 e inseridos em uma tabela Excel, para facilitar a leitura e o manuseio durante a produção das rosáceas no *software*. Foram coletados um total de 197 lineamentos.

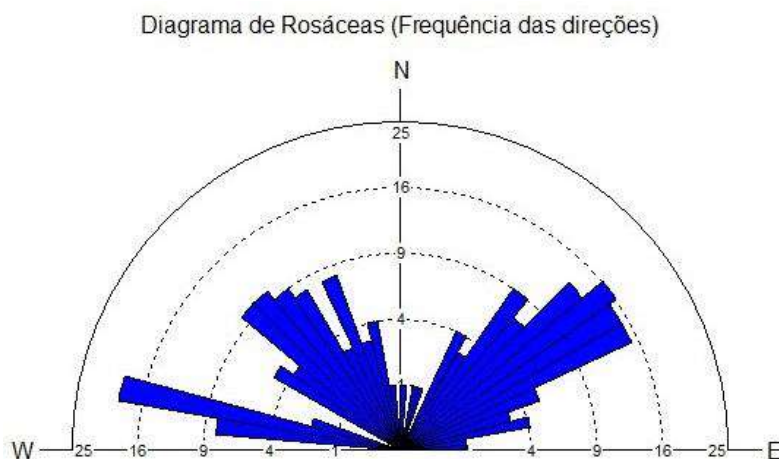


Figura 6.6 Diagrama de Rosáceas com os valores de frequência (em porcentagem) estabelecidos no eixo X e semi-círculos do gráfico em um intervalo de cada barra é de 5°

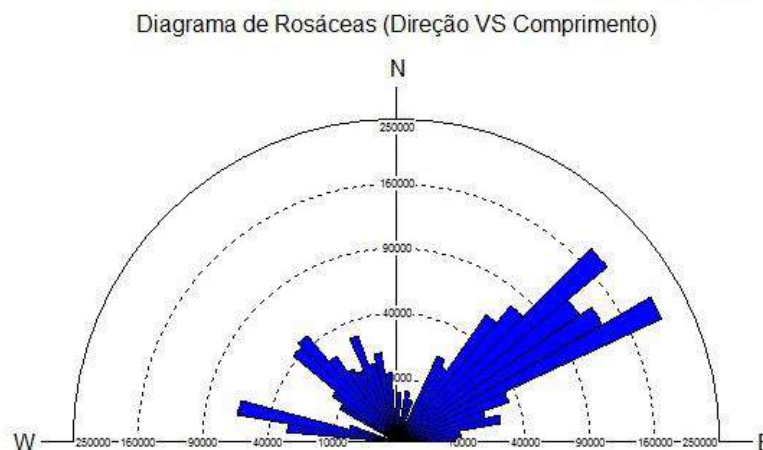


Figura 6.7 Diagrama de Rosáceas com a frequência (porcentagem) de direção dos lineamentos baseados no comprimento acumulado (metros) de cada lineamento em um intervalo de 5°.

Segundo esses diagramas, nota-se que os lineamentos estão distribuídos em duas direções preferências, NE e NW. Aqueles que apresentam *trends* entre N35-50E representam quase que 50% dos lineamentos delimitados no projeto. Já aqueles com orientação entre N75-80W são os que apresentam maior frequência, porém outros com *trends* N10-40W mostram-se significantes para a região.

Adicionado a isso, os lineamentos orientados em NE apresentam maiores comprimentos acumulados, enquanto os de direção NW, mesmo que em frequência semelhante, apresentam comprimento acumulado menor.

7. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 Análise da produção de poços

7.1.1 Hidrogeologia e características hidráulicas do aquífero

Os valores de capacidades específica foram calculados e comparados com: litologia, topografia e lineamentos. Ressalta-se que os dados em relação aos perfis litoconstrutivos de poços são raros e não puderam ser usados.

Os valores de capacidade específica considerados, de um modo geral, são valores baixos e apresentam uma mediana de 0,14m³/h/m. A Tabela 7.1 mostra os dados estatísticos levantados para os valores de capacidade específica dos poços selecionados nesse capítulo.

Tabela 7.1 Valores estatísticos de capacidade específica na área de detalhe ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$)

Máximo	14,630
Mínimo	0,003
Média	0,693
Tamanho (n)	109
Desvio Padrão	1,910
Mediana	0,140

A Figura 7.1 traz um gráfico de distribuição das frequências dos valores de capacidade específica dos poços. Este gráfico mostra que aproximadamente 60% dos valores estão abaixo de $0,2\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ e os demais valores se distribuem praticamente até os valores de $2\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$. Os valores acima de $5\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ não correspondem aos valores esperados para esse tipo de aquífero e foram desconsiderados nesta análise.

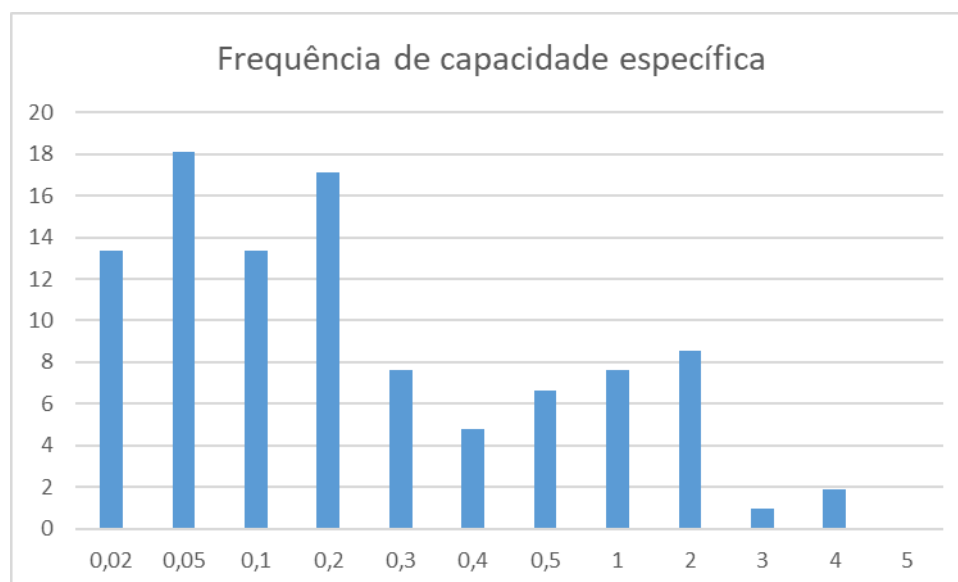


Figura 7.1 Gráfico de frequência dos valores de capacidade específica ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$) nos poços da área de detalhe

7.1.2 Produção de poços segundo a litologia

Conforme Fiume (2013), as variações litológicas podem desempenhar um papel importante no controle da circulação de água subterrânea, logo que: os tipos litológicos distintos, devido os diferentes comportamentos mecânicos, podem desenvolver padrões e tipos distintos de fraturas; os contatos entre tipos litológicos distintos podem ser, eles próprios, caminhos importantes de fluxo, ou ainda, controlar a propagação de fraturas de uma camada para outra.

Conforme descrito no capítulo de 6.3, as unidades arqueanas e neoproterozoicas são parecidas quanto aos tipos litológicos, e consequentemente, apresentam pouca diferença

quanto às características hidrodinâmicas. De um modo geral, essas unidades são formadas por orto/paragneisses, granitos, anfibolitos e rochas ultramáficas.

Em relação aos depósitos sedimentares, existem apenas dois poços instalados na Formação Cococi. Essa unidade apresenta rochas formada por sedimentos finos e muito finos como argilitos e siltitos, e algumas outras que passaram por um baixo metamorfismo, como as ardósias.

Salienta-se que os valores de capacidade específica ocorrem de forma aleatórios nas unidades geológicas, assim para uma determinada unidade podem ser observados valores baixos e altos de capacidade específica (Conforme Figura 6.3). Somado a isso, a descrição geológica regional não permite distinguir os tipos de rocha dentro de uma mesma unidade. Desta forma, com base na análise das unidades geológicas regionais da área de detalhe não foi possível diferenciar a produtividade dos poços correlacionando-as com os diferentes litotipos descritos na literatura.

7.1.3 Produção de poços segundo a topografia

Para essa análise, os poços foram separados segundo o seu compartimento topográfico (conforme capítulo 6.2). Conforme descrito anteriormente, a topografia foi separada em 3: vale, encosta e topo de serra. Os poços podem ser vistos junto ao Modelo Digital de Terreno (Figura 6.2).

Nota-se que os poços estão inseridos exclusivamente em vales e encostas. Dessa forma, o topo de serra não pôde ser avaliado. Além disso, a maior parte dos poços, encontra-se na região dos vales. Isso se deve ao fato de que a região de vale representa a maior extensão territorial dentro da área de detalhe e possivelmente as áreas mais habitadas e maior demanda de poços.

Para a região de vale, é apresentada a Tabela 7.2 com os valores estatísticos, enquanto que a região de encosta na Tabela 7.3. As Figuras 7.2 e 7.3, trazem os gráficos de frequência para os valores de capacidade específica para as áreas de vale e encosta, respectivamente.

Foi verificado que dos 109 poços, 75 estão na região do vale e 34 na região de encosta. Para os valores de mediana, a região de encosta apresenta um valor superior ao observado para a região do vale. Isso pode ser um indicativo de que a região de encosta apresenta poços mais produtivos que aqueles inseridos no vale.

Analisando os gráficos, é verificado que os vales apresentam uma maior frequência de capacidade específica até os valores $0,2\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$, enquanto que na encosta, os valores

estão mais dispersos, porém valores acima de $0,2\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$ são observados com mais frequência quando comparados. Na Figura 6.2 é possível ver essa relação espacial.

Tabela 7.2 Valores estatístico de capacidade específica para a região de vale.

Máximo	14,63
Mínimo	0,003
Média	0,614
Tamanho (n)	75
Desvio Padrão	1,982
Mediana	0,138

Tabela 7.3 Valores estatístico de capacidade específica para a região de encosta.

Máximo	9,804
Mínimo	0,020
Média	0,878
Tamanho (n)	34
Desvio Padrão	1,759
Mediana	0,235

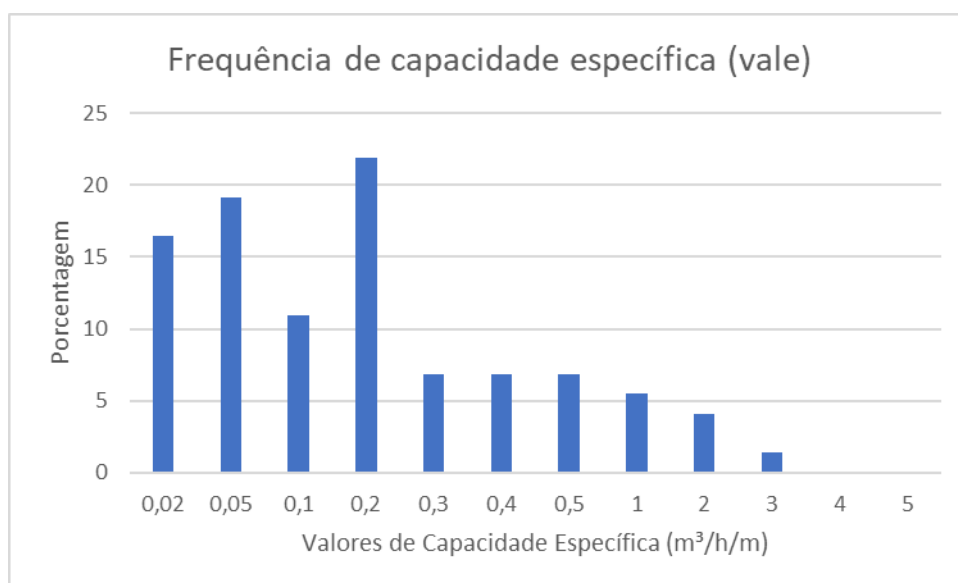


Figura 7.2 Gráfico de capacidade específica na região de vale.

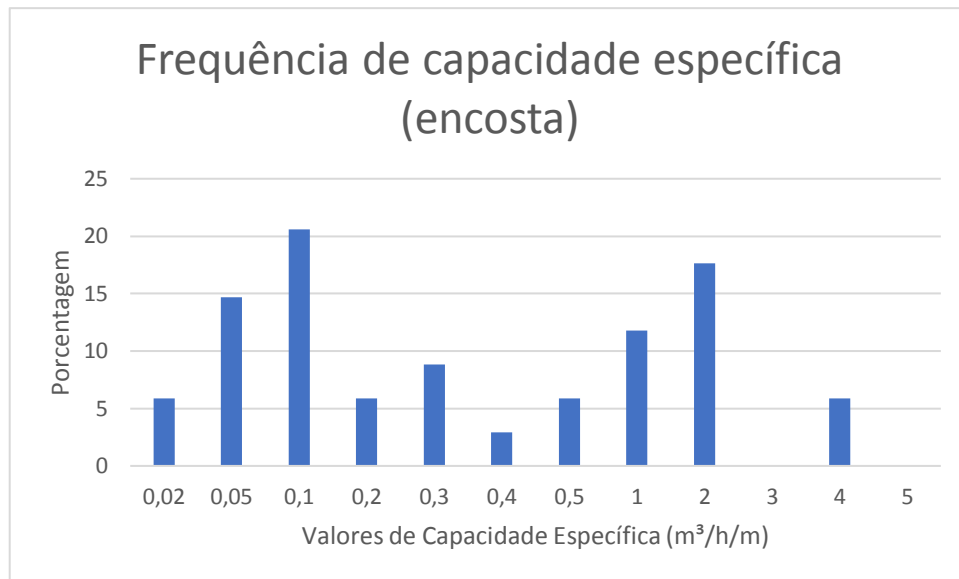


Figura 7.3 Gráfico de capacidade específica na região de encosta.

7.1.4 Produção de poços segundo os lineamentos:

Nesta etapa, foram selecionados os poços que estão até 200 m de algum lineamento. Salienta-se que intervalos menores que 200 m não abrangeriam uma quantidade significativa de poços para a interpretação e portando o intervalo adotado foi a menor distância passível de correlações com um número mínimo de poços. Vale ressaltar que os lineamentos foram identificados segundo imagens aéreas e isso não permite tirar medidas de mergulho e espessura de falhas ou mesmo de comprovar que tais lineamentos sejam na verdade estruturas geológicas.

Segundo O'Leary et al. (1976, apud Fernandes, 1997, p.6), o termo lineamento é definido como "uma feição linear, mapeável, simples ou composta, cujas partes são alinhadas de forma reta ou levemente curva, e que difere distintamente dos padrões de feições adjacentes e presumivelmente reflete um fenômeno de subsuperfície". A ocorrência de lineamentos na região está associada principalmente a eventos tectônicos e neotectônicos, que são os principais controladores de formação de fissuras que determinam o fluxo subterrâneo em aquífero fissural.

Utilizando o ArcGIS, um *Buffer* de 200 m foi aplicado em todos os lineamentos da área de detalhe. Essa ferramenta gera uma área de influência que uma determinada feição apresenta na área. Logo, os poços que estavam alocados entre esse espaçamento foram selecionados. Daqueles 109 poços que se encontram dentro da Área de Detalhe, apenas 19 satisfazem essa condição imposta.

Os poços alocados em lineamentos, ou nas proximidades, podem estar inseridos em nas seguintes condições:

- O perfil do poço intercepta os lineamentos delimitados nas imagens. Em zonas de fratura, os controladores de circulação de águas estão relacionados com a abertura, densidade e conectividade (Fernandes, 1997).
- O perfil do poço não intercepta os lineamentos delimitados nas imagens. Nessa situação, o poço está alocado fora da estrutura, mesmo que próximo a representação da mesma em superfície. Segundo Fernandes (1997), a produção do poço pode estar relacionada com: a presença de camadas permeáveis e saturadas do manto inconsolidado (não avaliado nesse trabalho); comportamento topográfico, que controla a disponibilidade de água; fraturas de baixo ângulo ou contatos geológicos. Além disso, pode ocorrer o caso de o poço estar associado a lineamentos que não puderam ser traçados no método empregado.

Entretanto, os 19 (Tabela 7.2) poços apresentam, de maneira geral, valores de capacidade específica inferiores quando comparados com os valores estatísticos dos 109 poços (Tabela 7.1).

Tabela 7.4 Valores estatísticos de capacidade específica ($m^3/h/m$) para os 19 poços próximos aos lineamentos.

Máximo	1,50
Mínimo	0,0030
Média	0,2143
Tamanho (n)	19
Mediana	0,041

Para auxiliar na compreensão da importância dos lineamentos para a região, foi elaborada um Diagrama de Rosáceas (Figura 9.2) que traz a direção dos lineamentos associados aos valores de capacidade específica.

Direção Vs Capacidade Específica

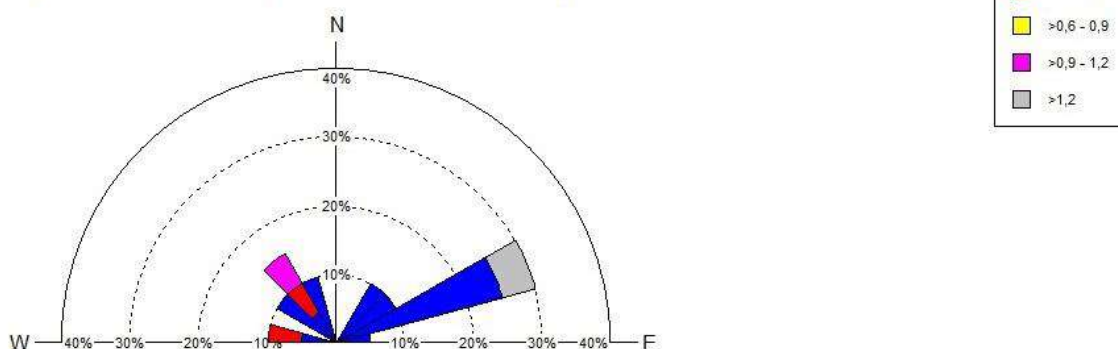


Figura 7.4 Diagrama de Rosácea das direções de lineamentos associadas aos valores de capacidade específica ($m^3/h/m$)

Segundo o diagrama, nota-se que a direção preferencial está bem dividida entre os quadrantes NE (cerca de 55%) e NW (cerca de 45%). Ademais, o valor mais alto de capacidade específica ($>1,2 m^3/h/m$) está associado aos lineamentos com direção preferencial NE. Fora isso, o restante é representado por valores mais baixos para esses lineamentos ($0 - 0,3 m^3/h/m$).

Por outro lado, os lineamentos com direção NW trazem uma distribuição maior entre os valores de capacidade específica associada. Esses valores variam de 0 até $1,2 m^3/h/m$, sendo que os lineamentos com direção N30-40W apresentam dados interessantes de capacidade específica, que corresponde a cerca de 10% de toda a amostragem.

Em relação à direção dos lineamentos, não existe uma correlação evidente junto aos valores de capacidade específica, já que valores altos aparecem associados com valores baixos em uma mesma direção de lineamentos.

A influência de tais domínios hidroestruturais foi verificada por Fernandes et al. (2005), no seu estudo de determinação de áreas com maior capacidade de produção, no qual constataram que a compartimentação em blocos geológicos, delimitados por grandes zonas de cisalhamento, permitiu a identificação de zonas com diferentes potenciais de produção. Ainda, outros fatores, tais como litologia, densidade e intersecção de lineamentos, além de espessura do manto inconsolidado, mostraram exercer controle muito menor, ou mesmo nenhum controle, sobre a variação da produção de poços.

8. CONCLUSOES E RECOMENDAÇÕES

A análise geomorfológica da área de detalhe possibilitou categorizar três feições distintas (vale, encosta e topo de serra). No entanto, não constam poços instalados no topo de serra. Dessa forma, foram comparados vale e encostas que resultou em valores superiores

de capacidade específica para os poços locados na encosta, quando comparados às regiões de vale. Entretanto, de acordo com a literatura consultada, é esperado que as regiões de vale apresentem poços de maior produtividade, já que essas áreas geralmente expõem níveis estáticos mais elevados e espessuras de manto inconsolidado maiores do que em encosta. Por isso, outros condicionantes que controlam a produtividade devem se sobrepor as características geomorfológicas, tais como densidade e conectividade de fraturas.

A análise de lineamentos contemplou a interpretação de foto aérea e do modelo digital de terreno. Esse método mostrou-se muito eficiente para traçar os principais lineamentos da área. Adicionado a isso, os diagramas de rosáceas confeccionados expuseram que existem duas direções preferenciais de lineamentos (NE e NW). Além disso, trouxe que os lineamentos com *trends* NE apresentam maiores comprimentos quando comparados aos de direção NW.

Para a correlação de capacidade específica com os lineamentos traçados considerou-se uma área de influência 200 m. Os resultados estatísticos e gráficos obtidos, não demonstraram correlação evidente de direção e comprimento com valores de capacidade específica. Fernandes et al. (2005) descreve que a litologia, densidade e intersecção de lineamentos, além de espessura do manto inconsolidado, podem exercer controle muito menor, ou mesmo nenhum controle, sobre a variação da produção de poços.

Assim conclui-se que a análise de condicionantes regionais não se demonstrou eficiente na avaliação das características hidroestruturais que influenciam na produtividade dos poços na área de detalhe. Além disso, a qualidade dos dados (situação e confiabilidade) podem ter influenciado nos resultados. Portanto, métodos que tragam mais detalhes aos dados como mapeamento geológico em campo, geofísica e perfis litoconstrutivos de poços se fazem necessários para uma melhor compreensão do comportamento hidráulico dos aquíferos fissurais estudados. Salienta-se que essas etapas não foram possíveis dentro do cronograma financeiro e temporal do trabalho de formatura.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito-Neves B.B, Fuck R. A. (1977). As províncias estruturais do Brasil.
- Ancelmi, M. F., Santos, T. J. S., Reginat, R. A., Amaral, W. S. A., Monteiro, L. V. S. (2013). *Geologia da Faixa Eclogítica de Forquilha, Domínio Cearpa Central, noroeste da Província Borborema*. Brazilian Journal of Geology, v.43, p. 235-252.
- Araripe, P.T., Feijó, F.J. (1994). *Bacia Potiguar*. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 8.

Assembléia Legislativa do Estado do Ceará (2009). *Cenário Atual dos Recursos Hídricos do Ceará*.

Assumpção, M. (1992). Patterns of focal mechanism and seismic provinces in Brazil. Congresso Brasileiro de Geofísica.

Barreto, P. H. (2009). *História – Seca, Fenômeno secular na vida dos nordestinos*. Revista Desafios do Desenvolvimento (IPEA), ano 6, edição 48. Acessado em 24/03/2017, <http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=1214:reportagens-materias&Itemid=39>

Brito Neves, B.B., Van Schmus, W.R., Dos Santos, E. J., Campos Neto, M. C. (1995). *O evento Cariris Velhos na Província Borborema: Integração de dados, implicações e perspectivas*. Revista Brasileira de Geociências, p. 279-296.

Brito Neves, B. B., Santos, E. D., VanSchmus, W. R. (2000). *Tectonic history of the Borborema Province*. In Tectonic Evolution of South America, 1, p. 151-182. Rio de Janeiro.

Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H (2003). Geotectônica do Escudo Atlântico. In: Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H (eds) *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil* (p 227-258). Brasília: Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

Cavalcante, J. C. (1999). *Limites e evolução geodinâmica do sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil*. Dissertação de Mestrado. Natal: Centro de Ciências Exatas e da Terra UFRN.

Claudino-Sales, V., Peulvast, J. P. (2007). *Evolução Morfoestrutural do Relevo da Margem Continental do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil*. Uberlândia: Caminhos de Geografia.

Dalton de Souza, J., Filho, J. F., Guimarães, J. T., Lopes, J. N. (1979). *Projeto Colômbia, Geologia da região do médio São Francisco*. Salvador: Convênio Departamento Nacional da Produção Mineral DNPM-CPRM..

Fernandes, A. J. (1997). *Tectônica Cenozóica na Porção Média da Bacia do Rio Piracicaba e sua aplicação à hidrogeologia*. Tese de Doutorado. São Paulo: Instituto de Geociências USP.

Fernandes, A. J., Perrotta, M. M. Salvador, E. D., Azevedo, S. G., Filho, A. G., Paulon, N. (2007). *Potencial dos aquíferos fraturados do estado de São Paulo: Geological Controls*. Águas Subterrâneas, v. 21, p 65- 84.

Fiume, B. (2013). *Geologia Estrutural de detalhe para a elaboração de modelo conceitual de circulação de água subterrânea: Estudo de caso em Jurubatuba, SP*. Dissertação de mestrado. Instituto de Geociências. São Paulo: Instituto de Geociências USP.

Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME (2007). *Mapeamento e Avaliação do Potencial Hídrico Subterrâneo dos Aluviões em Zonas Semi-áridas utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG*. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará

Gomes, J. R. C., Vasconcelos, A. M., Torres, P. F. M. (2000). Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Programa Jaguaribe SW, Folha SB.24-Y. Brasília: CPRM.

Governo do estado do Ceará (2016) – *Ceará passa pela pior seca prolongada desde 1910*.

Hasui, Y., Carneiro, C. D. R., Almeida, F. F. M., Bartorelli, A. (2012). *Geologia do Brasil*.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2007). *Áreas Especiais – Cadastro de municípios localizados na Região Semiárida do Brasil*. Acessado em 22/03/2017 <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiarido.shtm?c=4>>

Machado, M. A. (2006). *Caracterização descritiva e genética de ocorrências cupro-hematíticas no setor sudoeste do Sistema Orós-Jaguaribe Província Borborema*. Dissertação de mestrado. Brasília: Universidade de Brasília UNB.

Medeiros, C. N., Gomes, D. D. M., Albuquerque, E. L. S., Cruz, M. L. B. (2011). *Os recursos Hídricos do Ceará: integração, Gestão e potencialidades*. Fortaleza: Instituto de Pesquisa e Estratégias Econômica do Ceará (IPECE).

Ministério do Meio Ambiente – MMA (2012). *Programa Água Doce. Documento Base*.

Moraes, J.F.S., Figueiroa, I. (1998). *Paulistana, folha SC.24-VA, estados do Piauí, Bahia e Pernambuco*. Brasília: CPRM, Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB.

Morelato, R., Fabianovicz, R. (2015). *Bacia Potiguar – Sumário Geológico e Setores em Oferta*. Agência Nacional do Petróleo (ANP).

Neves, M. A., Morales, N. (2000). *Fatores que influenciam a produtividade dos poços nas rochas cristalinas da bacia do Rio Jundiá (SP)*. XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas.

Neves, M. A. (2005). *Análise integrada aplicada à exploração de água subterrânea na bacia do Rio Jundiá (SP)*. Tese de Doutorado. Rio Claro: UNESP

- Neto, A. O. G. (2007). *Neotectônica do Baixo Bale do Rio Jaguaribe – Ceará*. Tese de doutorado. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista.
- Neto, A. O. G., Morales N., Hamelak, G. M. S. (2012). *Tectônica da Formação Barreiras no Baixo Bale do Rio Jaguaribe, CE*. Revista de Geologia, Vol 25, p. 97 – 113.
- Pessoa Neto, O.C., Soares, U. M.; SILVA, J.G.F., Roesner, E.H., Florencio, C.P., Souza, C.A.V (2007). Bacia Potiguar. Boletim de Geociências da Petrobras, v. 15.
- Ribeiro, E. C. M., Silva, M. C. (2010). *Um retrato do semiárido Cearense*. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE.
- Romario, C. C. (1999). *Análise de terrenos na porção setentrional da Província Borborema, NE do Brasil: integração de dados geológicos e gravimétricos*. Dissertação de mestrado. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Sá, J. M., Sousa, L. C., Legrand, J. M., Galindo, A. C., Maia, H. N., Filippi, R. R. (2014). *U-Pb and Sm-Nd data of Rhyancian and Statherian Orthogneisses from Rio Piranhas-Seridó and Jaguaribeano Terranes, Borborema Province, Northeast of Brazil*. Revista do Instituto de Geociências , v. 14, n.3, p.97-110. São Paulo: Universidade de São Paulo.
- Saadi, A. (1993). *Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares*.
- Santos, E. D., Brito Neves, B. D., Almeida, F. F. M., Hasui, Y. (1984). Província Borborema. In: *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo: Edgard Blucher.
- Serviço Geológico do Brasil – CPRM (1998). Iguatu – Folha SB. 24-Y-B, estado do Ceará. Brasília
- Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2001). *Programa de água subterrânea para a região Nordeste*.
- Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2008). *Quixeramobim – SB.24-V-D-III*. Ceará: UFC/CPRM.
- Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2014). *Geodiversidade do estado do Ceará*.
- Silva, F. J. A., Araújo, A. L., de Souza, R. O. (2007). *Águas subterrâneas no Ceará – poços instalados e salinidade*. Rev. Tecnol. Fortaleza, v. 28, n. 2, p 136-159.
- Teixeira, F. J. C. (2004). *Série Água Brasil 6: Modelos de Gerenciamento de Recursos Hídricos: Análise e Proposta de Aperfeiçoamento do Sistema do Ceará*. 1ª Edição. Brasília: Banco Mundial e Ministério da Integração Nacional.

United States Geological Survey – USGS (2015). *SRTM Mission Summary*.

Ponte, F. C.; Appi, C. J. (1990) *Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe*. Congresso Brasileiro de Geologia (v. I, p. 211-226 36). Natal: SBG.