

PROGRAMA NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DOS RECURSOS  
HÍDRICOS - PROÁGUA NACIONAL  
Acordo de Empréstimo Nº 7420-BR  
Banco Mundial

# AVALIAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS E PROPOSIÇÃO DE MODELO DE GESTÃO COMPARTILHADA PARA OS AQUÍFEROS DA CHAPADA DO APODI, ENTRE OS ESTADOS DO RIO GRANDE DO NORTE E CEARÁ.

**Relatório Final - RF  
Volume I**

**Aspectos Gerais da  
Área do Projeto**

## **República Federativa do Brasil**

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente

## **Ministério do Meio Ambiente**

Izabella Mônica Vieira Teixeira

Ministra

## **Agência Nacional de Águas**

### **Diretoria Colegiada**

Vicente Andreu – Diretor-Presidente

Dalvino Troccoli Franca

João Gilberto Lotufo Conejo

Paulo Lopes Varella Neto

Paulo Rodrigues Vieira

## **Superintendência de Implementação e Programas e Projetos (Coordenação)**

Ricardo Medeiros de Andrade

Humberto Cardoso Gonçalves

## **Superintendência de Outorga e Fiscalização**

Francisco Lopes Viana

Flávia Gomes de Barros

## **Gerência de Águas Subterrâneas**

Fernando Roberto de Oliveira

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso

Flávio Soares do Nascimento

Marco Vinicius Castro Gonçalves

## **Comissão Técnica de Acompanhamento e Fiscalização**

Carlos Alberto Martins (SEMARH/RN)

Elmo Marinho de Figueiredo (SEMARH/RN)

Fabício Bueno da Fonseca Cardoso (ANA)

Fernando Roberto de Oliveira (ANA)

Flávio Soares do Nascimento (ANA)

Hilda Renck Teixeira (ANA)

João Lucio Faria de Oliveira (COGERH/CE)

Liduína de Carvalho Costa (SRH/CE)

Luiz Amisterdan Alves de Oliveira (SRH/CE)

Marcelo Augusto de Queiróz (CAERN/RN)

Napoleão Quesado Jr.(COGERH/CE)

Nelson César Fernandes Santos (IGARN/RN)

Nelson Paiva Raulino de Souza (FUNCEME/CE)

Paula Stein (SEMARH/RN)

Paulo Miranda Pereira (COGERH/CE)

Vera Maria Lucas Ribeiro (SEMARH/RN)

Victor Ygor Bonfim de Melo (SRH/CE)

Zulene Almada Teixeira (COGERH/CE)

### **Consórcio PROJETEC/TECHNE (Coordenação Geral)**

João Guimarães Recena

Luiz Alberto Teixeira

Antonio Carlos de Almeida Vidon

### **Gerência do Contrato**

Marcelo Casiuch

### **Membros da Equipe Técnica Executora**

João Manoel Filho (Coordenador)

Admilson da Penha Pachêco

Benjamim Bley de Brito Neves

Carla Maria Salgado Vidal

Cristiana Coutinho Duarte

Edilton Carneiro Feitosa

Joaquim Mota

José do Patrocínio Tomáz Albuquerque

José Geilson Alves Demetrio

Maria Marlúcia Freitas Santiago

Marivaldo Gonçalves da Silva

Nelson da Franca Ribeiro dos Anjos

Nivaneide Alves de Melo

Paulo de Melo da Cunha Pedrosa

Roberto Kirchheim

Tiago Siqueira de Miranda

Carlos Danilo Câmara de Oliveira

Diogo Feitosa Setubal

Francisco Edjânio Rodrigues Ferreira

Pedro Vinícius de Souza

Rodrigo Holanda Ribeiro

# **AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA**

**PROGRAMA NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS**

**Acordo de Empréstimo N° 7420-BR  
Banco Mundial**

**AVALIAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS E  
PROPOSIÇÃO DE MODELO DE GESTÃO COMPARTILHADA  
PARA OS AQUÍFEROS DA CHAPADA DO APODI, ENTRE OS  
ESTADOS DO RIO GRANDE DO NORTE E CEARÁ.**

## **Volume I**

### **Aspectos Gerais da Área do Projeto: Hidroclimatologia, Fisiografia, Uso e Ocupação do Solo, Socioeconomia e Demandas, Processamento Digital de Imagens de Satélite.**

**Novembro 2010**

Agência Nacional de Águas – ANA  
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Bloco B, L e M  
CEP: 70610-200 , Brasília – DF  
PABX: 2109-5400 / 2109-5252  
Endereço eletrônico: <http://www.ana.gov.br>

Equipe:  
Agência Nacional de Águas – ANA  
Superintendência de Implementação de Programas e Projetos – SIP (Coordenação)  
Superintendência de Outorga e Fiscalização - SOF

Elaboração e execução:  
Consórcio PROJETEC-TECHNE

Todos os direitos reservados  
É permitida a reprodução de dados e de informações, desde que citada a fonte.

Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Proposição de Modelo de Gestão Compartilhada para os Aquíferos da Chapada do Apodi, entre os Estados do Rio Grande do Norte e Ceará.

Vol. I - Aspectos Gerais da Área do Projeto: Hidroclimatologia, Fisiografia, Uso e Ocupação do Solo, Socioeconomia e Demandas, Processamento Digital de Imagens de Satélite.

Brasília: ANA, SIP, 2010.

1. Recursos hídricos
2. Chapada do Apodi
  - I. Projeto Proágua Nacional
  - II. Agência Nacional de Águas
  - III. Consórcio PROJETEC-TECHNE.

## SUMÁRIO

<b>Apresentação.....</b>	<b>12</b>
<b>1 – ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DO PROJETO .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 - Generalidades .....</b>	<b>15</b>
1.1.1 – Localização e acesso.....	15
<b>1.2 - Hidroclimatologia.....</b>	<b>16</b>
1.2.1 – Elementos e fatores do clima.....	16
1.2.1.1 – Clima.....	17
1.2.1.2 – Temperatura .....	17
1.2.1.3 – Umidade relativa.....	17
1.2.1.4 – Ventos e Insolação .....	19
1.2.2 – Evapotranspiração potencial.....	21
1.2.3 - Pluviometria .....	21
1.2.4 – Fluxo básico e regularização dos principais rios.....	23
1.2.4.1 - Fluxo básico do rio Apodi em Mossoró e Pedras de Abelhas.....	23
1.2.4.2 - Regularização do Rio Apodi/Mossoró pelo Açude Santa Cruz.....	25
1.2.4.3 - Fluxo básico do rio Jaguaribe em Peixe Gordo.....	25
1.2.4.4 - Possibilidade de recarga fluvial para o aquífero Açú.....	28
<b>1.3 - Fisiografia.....</b>	<b>29</b>
1.3.1 - Hidrografia .....	29
1.3.2 - Solos.....	32
1.3.3 - Vegetação.....	39
1.3.4 - Geomorfologia .....	42
1.3.4.1 – Relevo Cárstico .....	44
1.3.4.2 – Origem das Cavernas.....	44
1.3.4.3 – Feições Cársticas .....	45
<b>1.4 – Uso e ocupação do solo.....</b>	<b>50</b>
1.4.1 – Introdução .....	50
1.4.2 – Capacidade de Uso da Terra .....	53
1.4.3 – Adubação.....	56
1.4.4 – Agrotóxicos .....	58
1.4.5 – Conclusões sobre o Uso da Terra .....	60
<b>1.5 – Socioeconomia e demandas.....</b>	<b>61</b>
1.5.1 – População .....	61
1.5.2 – Serviços de Saúde.....	62

1.5.3 – Indicadores Educacionais .....	64
1.5.4 – Atividades Econômicas .....	65
1.5.5 – Infra-estrutura (atividades sanitárias).....	67
1.5.6 – Atividades Agropecuárias .....	71
1.5.7 – Demandas Hídricas .....	75
<b>1.6 – Processamento digital de imagens de satélite .....</b>	<b>78</b>
1.6.1 - Introdução.....	78
1.6.2 - Materiais e Métodos .....	79
1.6.2.1 - Materiais .....	79
1.6.2.2 - Métodos.....	81
1.6.2.2.1 - Definição da área de estudo.....	81
1.6.2.2.2 - Organização da base de dados cartográficos .....	81
1.6.2.2.3 - Processamento digital das imagens de satélite.....	83
1.6.2.2.4 - Elaboração dos demais mapas temáticos .....	85
1.6.3 - Apresentação dos demais mapas e descrição .....	88
1.6.3.1 - Mapa do Limite e Contato das Formações Geológicas Envolvidas.....	88
1.6.3.2 - Mapa dos Fotolineamentos .....	91
1.6.3.3 - Mapa de ocorrência de unidades aquíferas com estruturas cársticas e poços cadastrados .....	93
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>95</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.1</b> – Percentual aproximado de ocupação da área de estudo por 3 (três) municípios do Rio Grande do Norte (54%) e 6 (seis) municípios do Ceará (46%). .....	15
<b>Tabela 1.2</b> – Variáveis meteorológicas em Jaguaruana e Mossoró segundo as Normais Climatológicas 1961-1990.....	17
<b>Tabela 1.3</b> – Evapotranspiração potencial média diária nos postos de Aracati, Jaguaruana e Limoeiro do Norte (CE), Mossoró e Dix-Sept Rosado (RN) influentes sobre a área de estudo, segundo Hargreaves (Cunha & Millo, 1984).....	21
<b>Tabela 1.4</b> – Estações pluviométricas de interesse para a área de estudo e instituições responsáveis.....	22
<b>Tabela 1.5</b> – Séries pluviométricas dos postos existentes em operação (exceto Russas) nos municípios que cobrem a área de estudo.....	23
<b>Tabela 1.6</b> – POSTO 37090000 - RIO APODI EM MOSSORÓ - 10346 Km². Coeficientes de recessão, volumes e lâminas anuais de água subterrânea restituídos. ....	23

<b>Tabela 1.7</b> – POSTO 37080000 RIO APODI EM PEDRA DE ABELHAS – 6481 Km <sup>2</sup> Coeficientes de recessão, volumes e lâminas anualmente restituídas de água subterrânea. 25	25
<b>Tabela 1.8</b> – Parâmetros médios representativos das restituições e recarga dos aquíferos Açú e Jandaíra.....	25
<b>Tabela 1.9</b> – POSTO 36390000 RIO JAGUARIBE EM PEIXE GORDO – 48200 Km <sup>2</sup> - 1977-1980* Coeficientes de recessão, volumes e lâminas restituídas anualmente de água subterrânea.....	25
<b>Tabela 1.10</b> - Valores das áreas das classes temáticas referentes ao mapa de Classes de Vegetação.....	40
<b>Tabela 1.11</b> - Valores das áreas das classes temáticas referentes ao mapa de Uso e Ocupação do Solo. ....	52
<b>Tabela 1.12</b> – Defensivos agrícolas e fungicidas utilizados na área de estudo.....	59
<b>Tabela 1.13</b> – Frequência de aplicação de defensivos agrícolas no combate às pragas e no controle das doenças na região da Chapada do Apodi.....	60
<b>Tabela 1.14</b> – População residente em 2007 nos municípios envolvidos.....	61
<b>Tabela 1.15</b> – Estabelecimentos de saúde por município – 2007.....	62
<b>Tabela 1.16</b> - Leitos hospitalares nos municípios cearenses de Aracati, Jaguaruana, Limoeiro do Norte e Quixeré em novembro de 2007.....	62
<b>Tabela 1.17</b> - Leitos hospitalares nos municípios de Areia Branca, Baraúna e Mossoró, Rio Grande do Norte, em novembro de 2007.....	63
<b>Tabela 1.18</b> - Estabelecimentos de ensino por dependência administrativa e localização, segundo os municípios – 2006. ....	65
<b>Tabela 1.19</b> - Taxa de escolarização por grupos de idade em cada município – 2006. ....	65
<b>Tabela 1.20</b> – Tipo de Abastecimento de Água Urbano por domicílio em cada município – 2007. ....	70
<b>Tabela 1.21</b> - Tipos de Instalações sanitárias por domicílio em cada município – 2007. ....	70
<b>Tabela 1.22</b> - Tipos de Estabelecimentos Rurais e a Produção da Pecuária por município. ....	72
<b>Tabela 1.23</b> - Distribuição da demanda hídrica para consumo humano em 2005 e previsão para 2015 e 2025 em L/s. ....	77
<b>Tabela 1.24</b> - Distribuição da demanda hídrica para consumo animal, industrial e irrigação em 2005 e previsão para 2015 e 2025 em L/s .....	77
<b>Tabela 1.25</b> - Informações das imagens CBERS utilizadas no trabalho.....	80
<b>Tabela 1.26</b> - Característica da Câmara Imageadora de Alta Resolução CCD .....	81

<b>Tabela 1.27</b> - Comparação da nomenclatura da antiga classificação de solos utilizados pelos levantamentos com a de 2006. ....	86
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> – Localização da área de estudo entre os rios Apodi, a leste, no Rio Grande do Norte e Jaguaribe a oeste, no Ceará.....	15
<b>Figura 1.2</b> – Temperaturas médias mensais nos postos de Jaguaruana-CE e Mossoró-RN, na Chapada do Apodi. (Normais Climatológicas 1961-1990). ....	18
<b>Figura 1.3</b> – Distribuição da umidade relativa média mensal nos postos de Jaguaruana-CE e Mossoró-RN, segundo as Normais Climatológicas (1961-1990). ....	18
<b>Figura 1.4</b> – Distribuição de velocidade média dos ventos no posto de Aracati, no baixo Jaguaribe (SUDENE, 1963). ....	20
<b>Figura 1.5</b> – Distribuição da insolação média mensal nos postos de Jaguaruana-CE e Mossoró-RN, segundo as Normais Climatológicas (1961-1990). ....	20
<b>Figura 1.6</b> – Curvas de recessão do rio Jaguaribe em Peixe Gordo, no período de 1977 a 1978 (Manoel Filho & Silva, 1999). ....	26
<b>Figura 1.7</b> – Curvas de recessão do rio Jaguaribe em Peixe Gordo, no período de 1979 a 1980 (Manoel Filho & Silva, 1999). ....	27
<b>Figura 1.8</b> - Mapa de drenagem e corpos d'água superficiais da área de estudo. ....	31
<b>Figura 1.9</b> - Gráfico representativo do percentual de área ocupada por cada unidade de solo da área de estudo. ....	34
<b>Figura 1.10</b> - Distribuição espacial dos solos da área de estudo. ....	35
<b>Figura 1.11</b> - Gráfico com o percentual de ocorrência das classes de vegetação na área de estudo. ....	39
<b>Figura 1.12</b> - Mapa de distribuição das classes de vegetação da área de estudo a partir do processamento digital de imagens ....	41
<b>Figura 1.13</b> - Mapa Hipsométrico da área de estudo. ....	43
<b>Figura 1.14</b> – Mapa de estruturas e feições cársticas da Formação Jandaíra. ....	49
<b>Figura 1.15</b> - Gráfico com o percentual de ocorrência das classes de uso do solo na área de estudo. ....	54
<b>Figura 1.16</b> - Mapa de distribuição das classes de uso e ocupação do solo da área de estudo. ....	55
<b>Figura 1.17</b> - Mapa de Localização da área de estudo. ....	82
<b>Figura 1.18</b> - Mosaico de imagens no software Regeemy desenvolvido pelo INPE. ....	83

<b>Figura 1.19</b> - Registro da imagem na região da poligonal envolvente da área de estudo em SAD69.....	84
<b>Figura 1.20</b> – Gráfico da distribuição percentual das unidades litoestratigráficas no mapa geológico da área do projeto. ....	88
<b>Figura 1.21</b> - Mapa do limite e contatos das formações geológicas envolvidas na área de estudo.....	90
<b>Figura 1.22</b> - Mapa dos fotolineamentos da área de estudo. ....	92
<b>Figura 1.23</b> - Mapa de ocorrência de unidades aquíferas com estruturas cársticas e poços cadastrados na área de estudo.....	94

# **Apresentação**

O presente Volume constitui o relatório síntese de caracterização geral da área do projeto e nele são descritos os elementos ligados aos 5 (cinco) temas seguintes:

- ✓ **Hidroclimatologia** apresenta e descreve os dados hidroclimatológicos, incluindo os elementos e fatores condicionantes do clima da região, as precipitações, a evapotranspiração e o balanço hídrico. Descreve ainda a caracterização das relações entre água superficial e subterrânea, através de análise do fluxo básico dos dois principais rios da região (Apodi/Mossoró e Jaguaribe).
- ✓ **Fisiografia** apresenta uma caracterização que inclui a rede de drenagem superficial, os tipos de solos, vegetação, geomorfologia geral e do relevo cárstico, ilustrando cada um desses aspectos com os respectivos mapas temáticos, ou seja, mapa de distribuição da drenagem e dos corpos de água superficial; mapas de zoneamento das unidades de solo e das classes de vegetação; mapa hipsométrico e mapa das estruturas e feições do relevo cárstico.
- ✓ **Uso e ocupação do solo** define, através do processamento de imagens de satélite, as classes referentes ao uso e ocupação do solo indicando as suas áreas e percentuais de ocupação na área do projeto. Ilustra a distribuição espacial dessas classes em mapa e trata, por fim, da capacidade de uso da terra e do emprego de fertilizantes e agrotóxicos nas atividades agrícolas.
- ✓ **Socioeconomia e Demandas hídricas** esse capítulo apresenta e analisa os dados demográficos, os serviços de saúde e os indicadores econômicos associados com a infra-estrutura de atividades sanitárias e agropecuárias, bem como avalia as demandas hídricas.
- ✓ **Processamento Digital de Imagens de Satélite** descreve os materiais e métodos empregados, a organização da base de dados cartográficos, o processamento digital das imagens, bem como a elaboração e apresentação dos mapas temáticos previstos nos Termos de Referência

# **1 – ASPECTOS GERAIS DA ÁREA DO PROJETO**



No Ceará, que ocupa cerca de 46% do território, os municípios de Quixeré (21%), Jaguaruana (11%) e Limoeiro do Norte (10%), são os de maior domínio territorial, secundados por Tabuleiro do Norte (3%), e Russas (1%). O município de Aracati tem participação praticamente desprezível, com apenas 0,2 km<sup>2</sup> ou 0,1% na área de estudo.

Quanto ao acesso à área do projeto, este se faz, no Rio Grande do Norte, partindo de Natal através da BR-304, no sentido aproximado leste-oeste, até Mossoró. No Ceará, partindo de Fortaleza, o acesso é feito pela BR-116 e entrando, depois de Russas, até Limoeiro do Norte.

## **1.2 - Hidroclimatologia**

### **1.2.1 – Elementos e fatores do clima**

Por padrão, as caracterizações climáticas usadas na elaboração de estudos e projetos são feitas com base em “normais climatológicas”. Trata-se de um modelo definido em 1872, pelo Comitê Meteorológico Internacional, com o objetivo de evitar a utilização de séries cobrindo períodos variados. Esse Comitê decidiu que o modelo utilizaria períodos uniformes de 30 anos, tendo como período inicial 1901-1930. Os períodos subsequentes obedeceriam aos intervalos consecutivos de 1931-1960, 1961-1990, 1991-2020, etc.

No Brasil o primeiro período padrão calculado foi 1931-1960, usando dados compilados de 158 estações meteorológicas e o último 1961-1990, utilizando médias mensais e anuais de 209 estações meteorológicas, pertencentes ao Departamento Nacional de Meteorologia do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. O próximo naturalmente deverá ser 1991-2020.

Esse modelo é seguido por todos os países e obedece a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial (OMM). Vale ressaltar que o conceito de “cálculo das normais”, (MARA, 1992), inclui a análise de homogeneidade de dados e a avaliação dos outros elementos descritivos do clima.

No Nordeste do Brasil, a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE - criada em 1959, sentindo a necessidade de desenvolver estudos climáticos no semi-árido, e não contando, na época, com as informações necessárias, estabeleceu Normais Climatológicas de 1911-1942, para a sua área de atuação. Muitas das informações disponíveis nessas normais, particularmente sobre ventos, não constam das Normais Climatológicas de 1931-1960 nem das normais de 1961-1990.

Quanto aos dados hidroclimáticos disponíveis incluem variáveis meteorológicas e hidrológicas. No que se refere aos dados climatológicos, a caracterização dos elementos e fatores do clima na área de estudo foi feita a partir de dados fornecidos pelas Normais Climatológicas de 1961-1990 (temperatura, umidade relativa, ventos, insolação) para as estações meteorológicas de Jaguaruana no Ceará e Mossoró, no Rio Grande do Norte, únicos municípios da área de estudo que possuem esse tipo de estação (**tabela 1.2**). As informações sobre ventos foram obtidas das Normais Climatológicas de 1911-1942 da Área da SUDENE (SUDENE, 1963).

**Tabela 1.2** – Variáveis meteorológicas em Jaguaruana e Mossoró segundo as Normais Climatológicas 1961-1990.

Meses	Temperatura °C		Umidade relativa %		Insolação (horas/mês)	
	Jaguaruana	Mossoró	Jaguaruana	Mossoró	Jaguaruana	Mossoró
Jan	27,9	26,8	71,0	67,0	255,3	236,6
Fev	24,0	27,0	75,0	72,0	194,4	185,2
Mar	26,9	27,3	82,0	78,0	180,4	194,2
Abr	26,9	27,3	82,0	74,0	198,9	194,4
Mai	25,2	27,0	79,0	76,0	220,7	217,5
Jun	26,1	26,7	77,0	72,0	121,5	218,3
Jul	26,0	26,5	74,0	69,0	236,9	234,3
Ago	26,4	27,1	68,0	62,0	280,5	269,3
Set	27,3	27,7	68,0	61,0	268,2	254,0
Out	27,5	28,1	67,0	62,0	296,8	287,6
Nov	28,1	28,3	68,0	63,0	271,5	266,8
Dez	26,0	28,7	69,0	66,0	275,1	221,9
<b>MÊS</b>	<b>26,5</b>	<b>27,4</b>	<b>73,3</b>	<b>68,5</b>	<b>233,4</b>	<b>231,7</b>
<b>ANO</b>	<b>°C</b>				<b>Horas/ano</b>	
	<b>26,5</b>	<b>27,4</b>	<b>73,3</b>	<b>68,5</b>	<b>2800,2</b>	<b>2780,1</b>

### 1.2.1.1 - Clima

Segundo as Normais Climatológicas do Ministério da Agricultura e Reforma Agrária (1961-1990), na área de estudo os dados meteorológicos se restringem aos postos de Jaguaruana e Mossoró. O clima da área é do tipo Bsh de Koeppen (Koeppen, 1936), semi-árido, caracterizado pela ocorrência de duas estações distintas uma de chuvas, denominada de inverno com duração aproximada de 4 (quatro) meses e uma de estiagem nos 8 (oito) meses restantes do ano hidrológico.

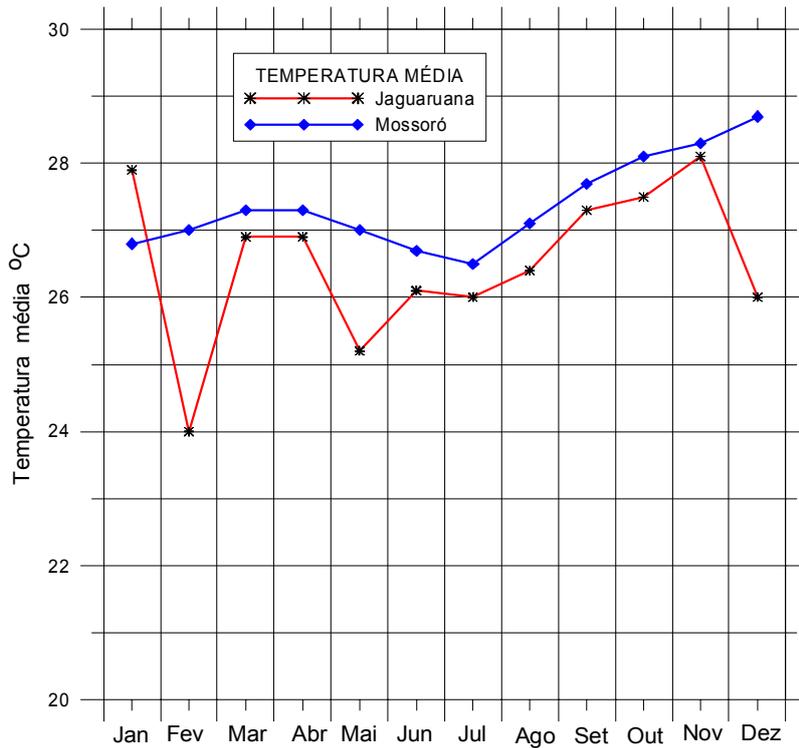
### 1.2.1.2 - Temperatura

As temperaturas médias mensais oscilam na faixa compreendida entre 24°. a 28,7°C (**figura 1.2**). No posto de Jaguaruana os valores médios de 24 °C em fevereiro e de 25,2 °C em maio fogem do comportamento normal, pois são inferiores aos 26 °C que caracterizam as médias dos meses mais frios, que são junho e julho.

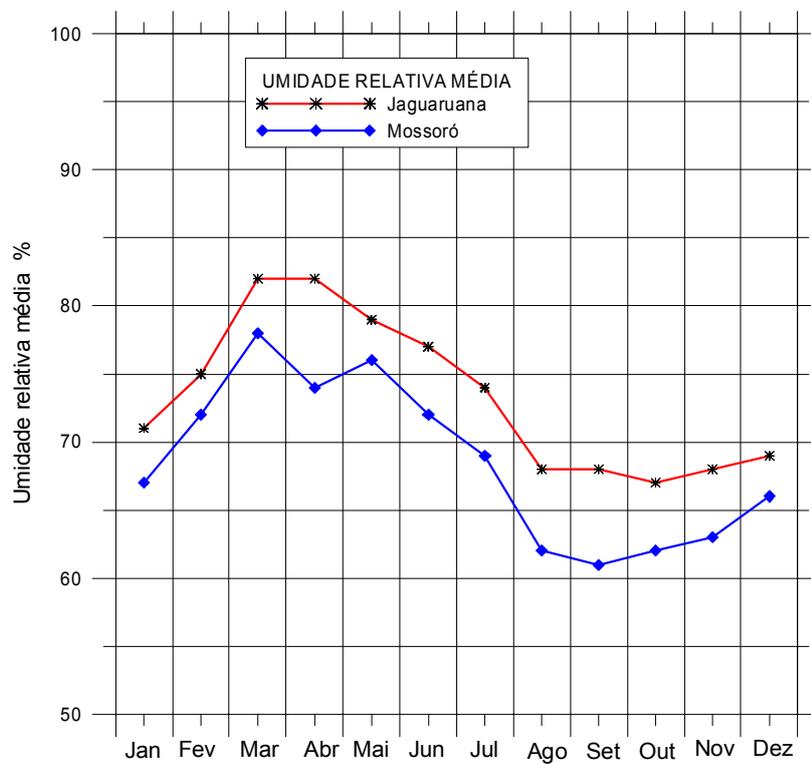
Em Mossoró, as temperaturas médias mensais, mesmo sendo mais altas que as de Jaguaruana, apresentam um comportamento mais estável e compatível com o ciclo anual das oscilações do clima. A amplitude térmica em Jaguaruana chega a 4,1° C enquanto que em Mossoró fica em apenas 2,2°C.

### 1.2.1.3 - Umidade relativa

A distribuição da umidade relativa média mensal do ar (figura 1.3) exhibe um comportamento que reflete o ciclo anual de mudança do clima. Os maiores valores médios em Jaguaruana atingem 82% nos meses de março e abril e em Mossoró 78% em março, ou seja, no período chuvoso. Os menores valores



**Figura 1.2** – Temperaturas médias mensais nos postos de Jaguaruana-CE e Mossoró-RN, na Chapada do Apodi. (Normais Climatológicas 1961-1990).



**Figura 1.3** – Distribuição da umidade relativa média mensal nos postos de Jaguaruana-CE e Mossoró-RN, segundo as Normais Climatológicas (1961-1990).

médios ocorrem no trimestre de setembro a novembro, em pleno período de estiagem, e os seus valores médios vão de 67% a 68% em Jaguaruana e de 61% a 63% em Mossoró.

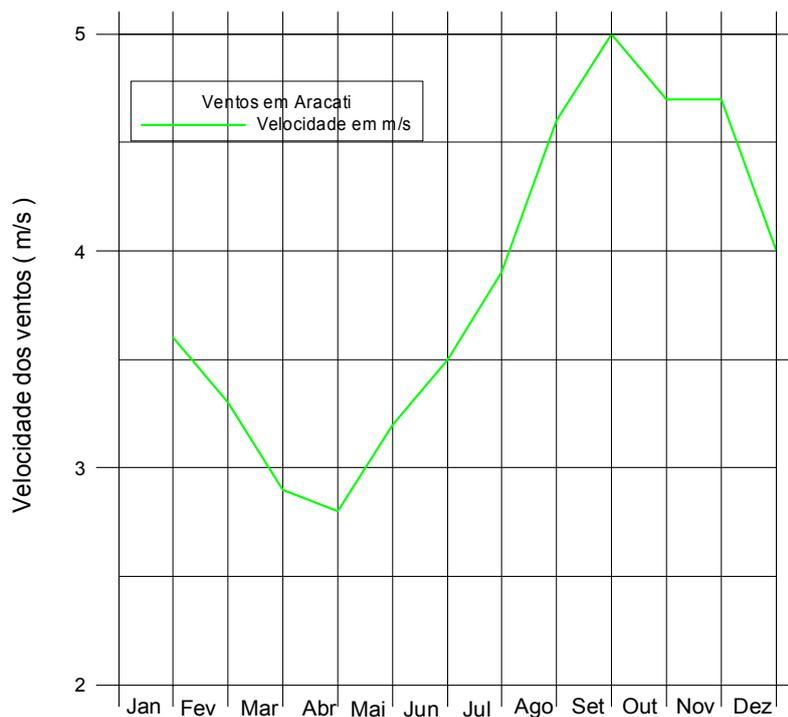
#### 1.2.1.4 - Ventos e Insolação

Os ventos desempenham importante papel na taxa de evaporação, sobretudo nas regiões de clima semi-árido. Conforme assinalam Cunha & Millo (1984) a ação dos ventos modifica a temperatura do ar e provoca reações nas plantas. O vento, ademais, movimentando as nuvens, responsáveis pelas precipitações pluviométricas, transportando o vapor d'água para o continente, onde se condensa e precipita. Dados relativos aos ventos inexistem nas Normais Climatológicas de 1931-1960 e de 1961-1990.

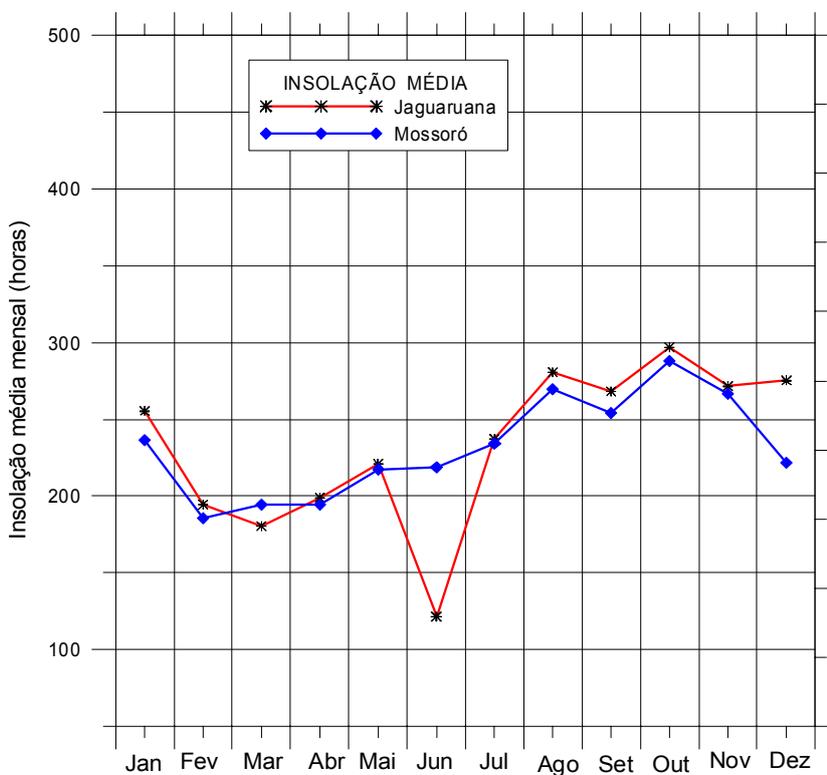
Segundo as Normais Climatológicas da área da SUDENE 1911-1942 (SUDENE, 1963), a zona costeira é a mais favorecida pelos ventos, apresentando, no posto de Aracati, velocidade média anual de 3,8m/s (13,68 km/h), variável de 3,9 a 5,0 m/s (14 a 18 km/h) no período seco e de 2,8 a 3,5 m/s (10 a 12,6 km/h) na época das chuvas (**figura 1.4**).

Em Mossoró, os ventos predominantes são de nordeste e sudeste, com média anual de 3,9m/s (14 km/h). O clima de Mossoró, segundo a classificação climática de W. Koeppen, é do tipo BSw', que significa "clima seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono".

Com exceção do mês de junho em Jaguaruana, a **insolação** média mensal nos postos de Jaguaruana e Mossoró apresenta praticamente o mesmo comportamento, crescendo de fevereiro a outubro e diminuindo no trimestre de novembro a janeiro. Os seus valores são da ordem de 180 horas/mês a 296 horas/mês, mantendo a tendência de crescimento durante os meses de fevereiro a outubro. A média anual, dada pela soma da média mensal, é de 2800,2 horas/ano em Jaguaruana e 2780,1 horas/ano em Mossoró (**tabela 1.2**) segundo as Normais Climatológicas de 1961-1990. Admite-se que o valor muito baixo de 121,5 horas/mês que consta como normal para junho em Jaguaruana é provavelmente inconsistente. Além de muito discrepante dos demais pontos da curva, não existe razão para que seja, por exemplo, menor do que a insolação de junho em Guaramiranga, na Serra de Baturité cuja normal é de 154,9 horas/mês numa altitude superior a 1000m. Na verdade, para manter a consistência com a curva de Mossoró (**figura 1.5**) um valor de 221 horas/mês para a insolação de junho em Jaguaruana seria o esperado.



**Figura 1.4** – Distribuição de velocidade média dos ventos no posto de Aracati, no baixo Jaguaribe (SUDENE, 1963).



**Figura 1.5** – Distribuição da insolação média mensal nos postos de Jaguaruana-CE e Mossoró-RN, segundo as Normais Climatológicas (1961-1990).

### 1.2.2 - Evapotranspiração potencial

Existe um número razoável de relações climatológicas (fórmulas empíricas) desenvolvidas por diferentes pesquisadores para o cálculo da evapotranspiração potencial (ETP). Dentre as mais conhecidas encontram-se as de Thornthwaite (1948), que criou a denominação *evapotranspiração potencial*, Blaney & Criddle (1950), Penman *et al.* 1967. Se por um lado os métodos mais simples são menos precisos, os mais complexos nem sempre podem ser empregados por falta de todos os parâmetros necessários ao cálculo.

Silva *et al.* (2005) no nordeste, Camargo & Sentelhas (1997) no Estado de São Paulo demonstraram a validade dos métodos mais simples. Segundo Cunha & Millo, 1984, de todas as relações testadas no Brasil, as de maior aceitação no semi-árido nordestino, notadamente pela simplicidade, têm sido a de Hargreaves (1956) e a de Blaney & Criddle (1950).

Na **tabela 1.3** são apresentados valores de evapotranspiração potencial média diária segundo Hargreaves (Cunha & Millo, 1984), incluindo os respectivos totais mensais e anuais, em estações existentes na área de estudo e em suas proximidades.

Nota-se que os menores valores de ETP ocorrem no trimestre de transição do período chuvoso para o período de estiagem entre os meses de maio e julho com valores oscilando em torno de 4 mm/dia. No semestre de setembro a fevereiro os valores da ETP média diária ficam compreendidos entre 5 mm/dia e 6 mm/dia.

Tanto nas estações do Ceará quanto nas do Rio Grande do Norte é possível perceber que os valores da ETP aumentam do litoral para o interior, desde Aracati até Limoeiro do Norte no Ceará e desde Mossoró até Dix-Sept Rosado, no Rio Grande do Norte.

**Tabela 1.3** – Evapotranspiração potencial média diária nos postos de Aracati, Jaguaruana e Limoeiro do Norte (CE), Mossoró e Dix-Sept Rosado (RN) influentes sobre a área de estudo, segundo Hargreaves (Cunha & Millo, 1984).

Posto	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
Aracati	4,7	4,5	4,1	3,9	3,8	3,7	4,0	4,5	4,8	5,1	5,0	4,8	52,9
Jaguaruana	5,6	5,2	4,2	3,7	4,3	4,0	4,3	5,4	5,9	5,9	5,9	6,1	60,5
Limoeiro do Norte	6,1	5,3	4,3	4,2	3,9	3,9	4,6	5,5	6,1	6,5	6,5	6,5	63,4
Mossoró	5,8	5,6	5,2	4,4	3,8	3,5	3,5	4,1	5,0	5,0	6,0	6,0	57,9
Dix-Sept Ro	6,0	5,6	4,7	4,1	4,0	4,1	4,4	5,2	6,1	6,4	6,5	6,3	63,4
Média reg	5,6	5,2	4,5	4,1	4,0	3,8	4,2	4,9	5,6	5,8	6,0	5,9	59,6
N/dias	31,0	28,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	31,0	30,0	31,0	30,0	31,0	365,0
ETP/mês	174,8	146,7	139,5	121,8	122,8	115,2	129,0	153,1	167,4	179,2	179,4	184,1	1813,0

### 1.2.3 - Pluviometria

Dados de chuvas nos postos pluviométricos situados nos municípios incluídos na área de estudo foram levantados na Hidroweb, FUNCEME e na EMPARN. A **tabela 1.4** indica, segundo dados da ANA – Hidroweb, as estações pluviométricas de interesse para a área de estudo e as instituições responsáveis pelas mesmas.

**Tabela 1.4** – Estações pluviométricas de interesse para a área de estudo e instituições responsáveis.

Código	Nome	Sub-bacia	Rio	UF	Município	Responsável	Operadora
437000	ARACATI	36	RIO JAGUARIBE	CE	ARACATI	FUNCEME	FUNCEME
437006	JAGUARUANA	36	RIO JAGUARIBE	CE	JAGUARUANA	FUNCEME	FUNCEME
437007	JAGUARUANA (UNIÃO)	36	RIO JAGUARIBE	CE	JAGUARUANA	INMET	INMET
437010	RUSSAS	36	RIO JAGUARIBE	CE	RUSSAS	FUNCEME	FUNCEME
537041	QUIXERÉ	36	RIO JAGUARIBE	CE	QUIXERÉ	FUNCEME	FUNCEME
538009	LIMOEIRO DO NORTE	36	RIO JAGUARIBE	CE	LIMOEIRO DO NORTE	FUNCEME	FUNCEME
538069	TABULEIRO DO NORTE	36	RIO JAGUARIBE	CE	TABULEIRO DO NORTE	FUNCEME	FUNCEME
537003	BARAÚNA	37	RIO APODI	RN	MOSSORÓ	EMPARN	EMPARN
537013	GOVERNADOR DIX-SEPT ROSADO	37	RIO APODI	RN	GOVERNADOR DIX-SEPT ROSADO	DNOCS	DNOCS
537023	MOSSORÓ	37	RIO APODI	RN	MOSSORÓ	DNOCS	DNOCS
537033	MOSSORÓ (JERÔNIMO ROSADO)	37	RIO APODI	RN	MOSSORÓ	INMET	INMET
537036	GOVERNADOR DIX-SEPT ROSADO	37	RIO APODI	RN	GOVERNADOR DIX-SEPT ROSADO	ANA	CPRM
537037	MOSSORÓ	37	RIO APODI	RN	MOSSORÓ	ANA	CPRM
537043	MOSSORÓ	37	RIO APODI	RN	MOSSORÓ	EMPARN	EMPARN

As séries de chuvas mensais disponíveis nos municípios situados na área de estudo cobrem diferentes períodos e apresentam muitas lacunas. A **tabela 1.5** mostra os períodos de observação disponíveis, os anos ausentes e os anos incompletos.

Séries completas de precipitações médias mensais avaliadas pelo método dos polígonos de Voronoi (Thiessen) estão disponibilizadas na Web pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). Assim sendo, foram baixadas do site da referida fundação, séries completas de chuvas mensais, cobrindo o período de 1964-2008 nos postos de Tabuleiro do Norte, Limoeiro do Norte, Quixeré e Jaguaruana. O mesmo procedimento foi utilizado nos postos pluviométricos de Baraúna e Mossoró no Rio Grande do Norte visando obter séries completas para o estabelecimento de um balanço hídrico de 30 anos de dados mais recentes, contemplando as precipitações verificadas na área nas 3 três últimas décadas, ou seja, no período de 1979-2008.

**Tabela 1.5** – Séries pluviométricas dos postos existentes em operação (exceto Russas) nos municípios que cobrem a área de estudo.

Código	ESTAÇÃO	Período Obs.	Num anos	Anos Ausentes	Anos incompletos
437000	Aracati	1912-1983	72	1931 a 1940 1942 a 1947	1912
437006	Jaguaruana	1912-1976	65	1945	1976
437007	Jaguaruana União				
437010	Russas	1962-1977	16		Desativada em 1978
538009	Limoeiro do Norte	1912-1983	72	1936 a 1938	
537003	Baraúna	1962-1983	22		
537013	Dix-Sept Rosado	1910-1983	74		
537023	Mossoró	1910-1983	74	1911 a 1915 1959 a 1960 1971 1973 a 1975 1977 a 1982	
537033	Mossoró Jeronimo Rosado				
537037	Mossoró- ANA	1986-2002	17		
537043	Mossoró EMPARN				

#### 1.2.4 - Fluxo básico e regularização dos principais rios

A região da Chapada do Apodi na área de interesse é praticamente destituída de rede hidrográfica pelo fato de haver um desenvolvimento acentuado de estruturas cársticas para as quais fluem diretamente as águas de chuva acumuladas na superfície do terreno após as enxurradas.

No estudo das relações entre águas superficiais e águas subterrâneas na área de estudo os únicos rios a serem levados em conta são aqueles que constituem os limites leste e oeste da área. Ou seja, o rio Apodi/Mossoró, a leste, que banha a zona urbana de Mossoró e o braço do rio Jaguaribe conhecido como rio Quixeré, a oeste, que forma com o leito principal a ilha fluvial de Limoeiro do Norte, na planície aluvial do Baixo Jaguaribe. As interações entre esses rios e os aquíferos por eles atravessados foram analisadas no trabalho de mapeamento dos aquíferos nas principais bacias receptoras da transposição do Rio São Francisco (Manoel Filho & Silva, 1999) sendo os principais resultados descritos a seguir.

##### 1.2.4.1 - Fluxo básico do rio Apodi em Mossoró e Pedras de Abelhas

Segundo dados de recessão do rio Apodi em Mossoró, o volume restituído nos anos de 1987 a 1989 e de 1994 a 1996, variou de 0,92 Hm<sup>3</sup> em 1994 a 45 Hm<sup>3</sup> em 1989 (**tabela 1.6**).

**Tabela 1.6** – POSTO 37090000 - RIO APODI EM MOSSORÓ - 10346 Km<sup>2</sup>. Coeficientes de recessão, volumes e lâminas anuais de água subterrânea restituídos.

ANO	Q <sub>0</sub> m <sup>3</sup> /s	α 1/dia	N Dias	V m <sup>3</sup>	Restituição específica		Época
					m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	mm	
1987	20	0,0384282	60	1,3490E+7	1303	1,3	Abr-Mai
1988	29,4	0,625674	37	2,6788E+7	2589	2,6	Mai-Jun
1989	30	0,0422905	55	4,5972E+7	4146	4,1	Jun-Ago
1994	1,0	0,0610589	38	0,9200E+6	88	0,1	Jul-Ago
1995	10	0,0367137	63	2,3536E+7	2275	2,3	Jun-Ago
1996	5	0,0750604	31	5,7554E+6	556	0,6	Jun

N = Número de dias para que a vazão se reduza de 10 m<sup>3</sup>/s para 1 m<sup>3</sup>/s.

Do ponto de vista geológico a bacia do rio Apodi/Mossoró, a montante do posto fluviométrico de Mossoró, é constituída de terrenos cristalinos sobre 5538 km<sup>2</sup> (53%) e de terrenos sedimentares sobre 4808 km<sup>2</sup> (47%). O número de dias necessários para que a vazão diminua de 10 m<sup>3</sup>/s para 1 m<sup>3</sup>/s varia de 31 a 63 e reflete um regime de depleção de rio praticamente intermitente, no qual as influências dos terrenos sedimentares e cristalinos sobre o escoamento básico se tornam indistintas.

Examinando-se mais em detalhe os dados de restituição do rio Apodi nos postos de Mossoró e Pedra de Abelhas, através do número de dias necessários para que a vazão se reduza de 10 m<sup>3</sup>/s para 1 m<sup>3</sup>/s, é possível interpretá-los da seguinte maneira:

- Conforme se vê na **tabela 1.6**, com exceção do ano de 1988 (no qual aparece um valor atípico), o coeficiente de restituição em Mossoró varia de 0,0384 a 0,0750 apresentando uma média de 0,0507, que caracteriza o comportamento de bacia mista acima descrito. As áreas ocupadas pelo cristalino e pelo calcário Jandaíra, respectivamente, são da mesma ordem de grandeza e por isso o coeficiente de restituição encontrado poderia ser aplicado tanto a um tipo de terreno quanto ao outro.
- O rio Apodi no posto de Pedra de Abelhas (**tabela 1.7**) drena 85% de terrenos cristalinos (5538 km<sup>2</sup>) e 15% de terrenos sedimentares (943 km<sup>2</sup>), representados pela zona de afloramento do aquífero Açú. O ano de 1990 se caracteriza por uma restituição típica de terrenos sedimentares (com N=113 dias e α=0,0204). Já os valores registrados em 1991 e 1992 (respectivamente N=19 dias e N=20 dias) estão ligados a um coeficiente de restituição médio de 0,1202 que pode ser considerado como típico do fluxo básico esperado para os terrenos cristalinos.

Assim sendo, pode-se dizer que o coeficiente de recessão médio de 0,0204 representa o escoamento básico do aquífero Açú. Conforme **tabela 1.8**, conclui-se dessa análise que os parâmetros representativos das restituições e as lâminas restituídas nas formações Jandaíra e Açú dentro da bacia hidrográfica do Apodi, são, respectivamente, os seguintes:

**Tabela 1.7** – POSTO 37080000 RIO APODI EM PEDRA DE ABELHAS – 6481 Km<sup>2</sup> Coeficientes de recessão, volumes e lâminas anualmente restituídas de água subterrânea.

ANO	Q <sub>o</sub> m <sup>3</sup> /s	α 1/dia	N Dias	V m <sup>3</sup>	Restituição específica		Época
					m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	mm	
1990	2	0,0204516	113	8,4492E+6	1303,690	1,3	Abr-mai
1991	7	0,123213	19	4,9086E+6	757,379	0,8	Abr
1994	20	0,117282	20	1,4734E+7	2273,371	2,3	Mai

**Tabela 1.8** – Parâmetros médios representativos das restituições e recarga dos aquíferos Açú e Jandaíra.

ANO	Q <sub>o</sub> m <sup>3</sup> /s	α 1/dia	N Dias	V m <sup>3</sup>	Área km <sup>2</sup>	Restituição mm
Jandaíra	3,2	0,0507	50	2,2495E+07	3865	5,8
Açú	2,0	0,0204	113	8,4706E+06	943	9,0

#### 1.2.4.2 - Regularização do Rio Apodi/Mossoró pelo Açude Santa Cruz

Atualmente, a descarga de regularização prevista do rio Apodi/Mossoró pelo açude Santa Cruz (barragem de acumulação com capacidade de 600 Hm<sup>3</sup>) segundo dados obtidos no site da SEMARH/RN é de 6,04 m<sup>3</sup>/s, com garantia de 90%. O regime do rio Apodi fica assim totalmente modificado em relação à situação analisada.

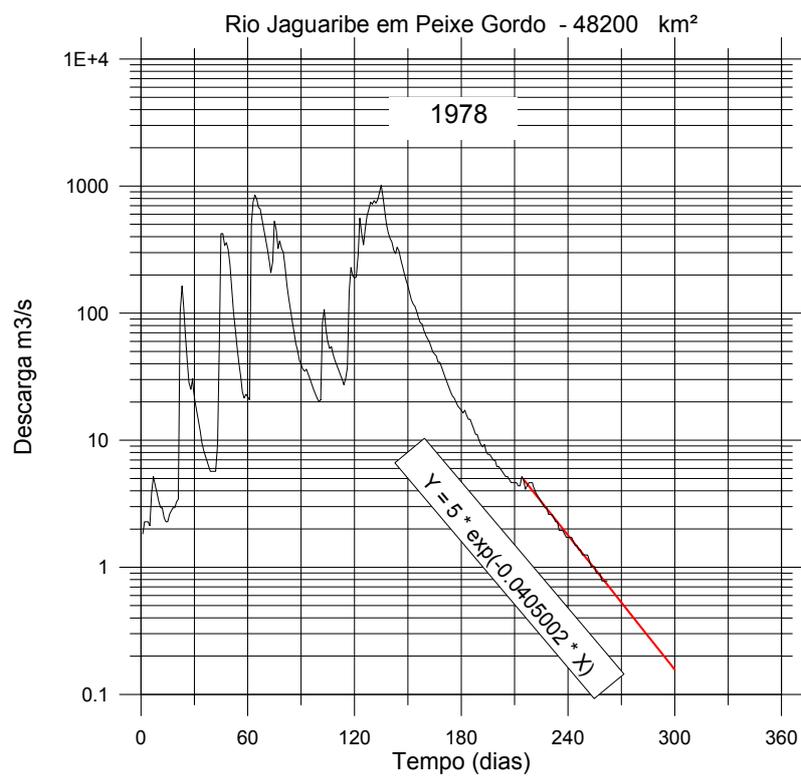
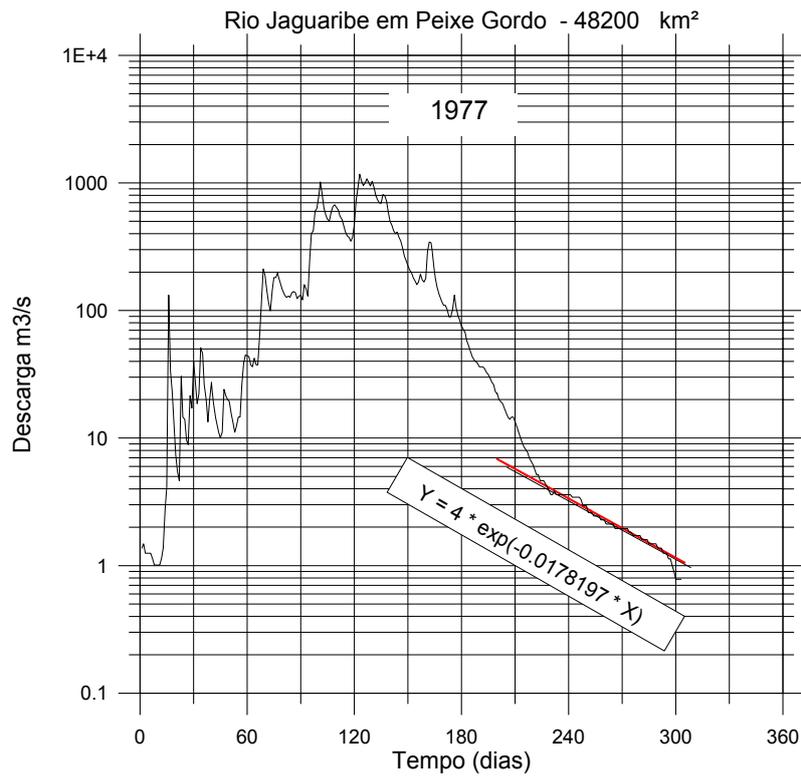
#### 1.2.4.3 - Fluxo básico do rio Jaguaribe em Peixe Gordo

As curvas de recessão do rio Jaguaribe em Peixe Gordo são mostradas na **figura 1.6**. A **tabela 1.9** exhibe os coeficientes de recessão e os volumes restituídos pelo Rio Jaguaribe em Peixe Gordo no quadriênio 1977-1980. Nesse período os coeficientes de recessão foram bastante díspares, oscilando entre 0,008 dia<sup>-1</sup> e 0,040 dia<sup>-1</sup>, enquanto que as lâminas restituídas apresentaram variação de 0,2 mm a 2,6 mm/ano.

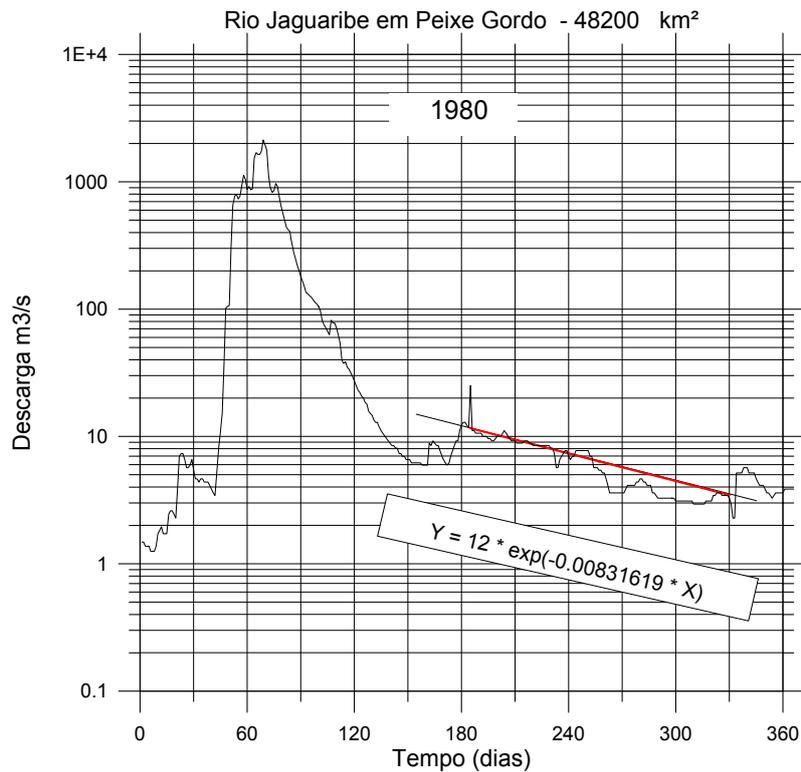
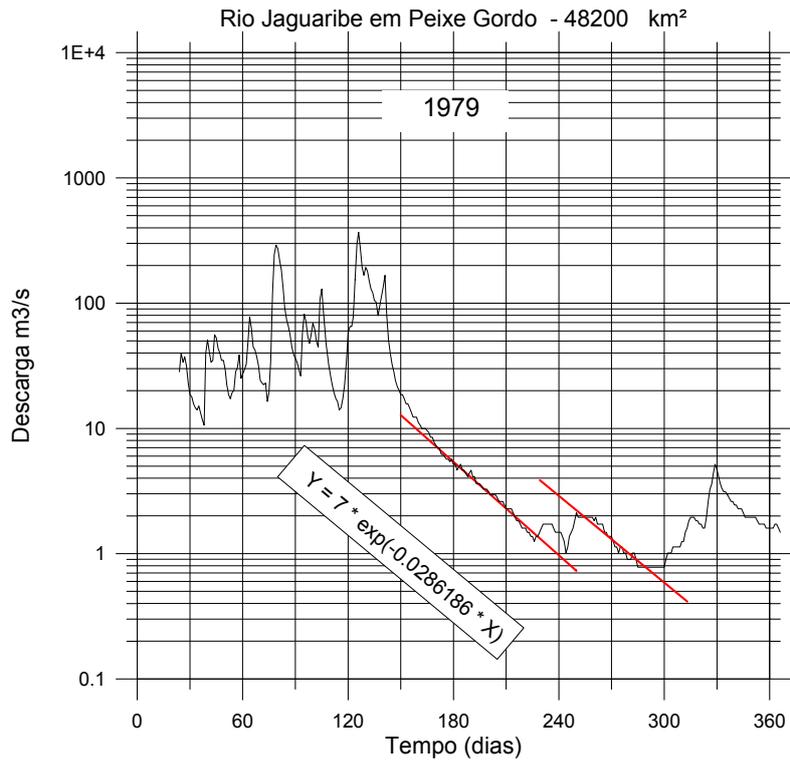
**Tabela 1.9** – POSTO 36390000 RIO JAGUARIBE EM PEIXE GORDO – 48200 Km<sup>2</sup> - 1977-1980\* Coeficientes de recessão, volumes e lâminas restituídas anualmente de água subterrânea.

ANO	Q <sub>o</sub> m <sup>3</sup> /s	α 1/dia	N dias	V m <sup>3</sup>	Restituição específica		Época
					m <sup>3</sup> /km <sup>2</sup>	mm	
1977	4	0,0178197	129	1,9394E+7	402,371	0,4	Ago-out
1978	5	0,0405002	57	1,0667E+7	221,299	0,2	Jun-out
1979	7	0,0286186	80	2,1133E+7	438,446	0,4	Jun-out
1980	12	0,0083161	256	1,2467E+8	2586,566	2,6	Jun-nov

\* Período analisado



**Figura 1.6** – Curvas de recessão do rio Jaguaribe em Peixe Gordo, no período de 1977 a 1978 (Manoel Filho & Silva, 1999).



**Figura 1.7** – Curvas de recessão do rio Jaguaribe em Peixe Gordo, no período de 1979 a 1980 (Manoel Filho & Silva, 1999).

Pela disparidade dos valores do número N, de dias necessários para que a vazão se reduza de 10 para 1 m<sup>3</sup>/s pode-se dizer que o regime de recessão é muito irregular e difícil de correlacionar a um tipo específico de terreno.

Os valores de 1978 e 1979 sugerem um predomínio de drenagem a partir de terrenos cristalinos, nos quais comumente se observam valores de N na faixa de 60 a 70 dias. Já os valores de 129 dias registrado em 1977 e de 256 dias observado em 1980 podem ser interpretados como indicativos de recessões do aquífero aluvial, levando em conta o contexto hidrogeológico da região a montante do posto fluviométrico analisado.

Segundo Dias (2007), embora a açudagem retenha cerca de 87% dos deflúvios do Rio Jaguaribe através de mais de 4000 barramentos, ainda são registradas vazões médias históricas entre 14 e 23 m<sup>3</sup>/s na estação seca e entre 235 e 434 m<sup>3</sup>/s na estação de chuvas. A modelagem hidrodinâmica utilizada pelo referido autor, a partir de medidas realizadas na interface água-doce/água-salgada, em marés de quadratura, fevereiro e junho de 2006, e do tipo sizígia, setembro de 2005, totalizou vazões hídricas entre 58 a 183 m<sup>3</sup>/s no período avaliado.

Atualmente o baixo vale do Jaguaribe é perenizado pelo Açude Castanhão (com capacidade de 6 bilhões de m<sup>3</sup>), que deriva uma descarga da ordem de 7 m<sup>3</sup>/s para o perímetro de irrigação Jaguaribe-Apodi.

#### **1.2.4.4 - Possibilidade de recarga fluvial para o aquífero Açú**

A recarga por infiltração lateral, do canal do rio Jaguaribe para as aluviões, já foi caracterizada por estudos efetuados no Baixo Jaguaribe (Gaspary *et al.* 1967; Manoel Filho, 1971). Para uma amplitude média de  $h=4\text{ m}$  do nível d'água no canal do rio, numa extensão de  $L=90\text{ km}$  (entre Peixe Gordo e Itaiçaba), o volume infiltrado, durante um período  $\Delta t = 90\text{ dias}$ , numa área de 650 km<sup>2</sup> com largura média de 10 km, foi estimado em  $V=48,8\text{ Hm}^3$ . A taxa média de recarga foi de  $(I_L = V/L\Delta t)$  de 6024 m<sup>3</sup>/dia.km ou cerca de 70 l/s.km. O valor médio do coeficiente de filtração ou taxa de filtração por m<sup>2</sup> ( $I_f = I_L/2A_L$ ), expresso como uma velocidade aparente de infiltração, é de 0,752 m/dia, sendo  $A_L$  a área lateral de contato rio-aquífero. Esse resultado, obtido para o Baixo Jaguaribe está em perfeita consonância com os valores médios previstos utilizados em muitos países, para efetuar estimativas em fase de anteprojeto de recarga artificial em aquíferos de condutividade hidráulica conhecida (Bize *et al.* 1972; AIHS, 1970; Bourguet, 1970).

A possibilidade de recarga lateral para o aquífero Açú a partir do canal do rio Quixeré é considerada nula. As pesquisas realizadas envolvendo a perfuração de poços e testes de aquífero na zona de afloramento da Formação Açú, revelaram que as aluviões ao longo da margem direita do rio Quixeré, em Vertentes Santa Cruz, estão em contato com o aquífero Quebradas, constituído de sedimentos pelíticos da Formação Açú superior. Além disso, mostraram que o fluxo subterrâneo se realiza da Chapada do Apodi para o vale do Jaguaribe, na direção aproximada de sudeste para noroeste. Portanto, na área do projeto, o rio Quixeré se comporta como efluente das águas subterrâneas oriundas da bacia Potiguar.

## 1.3 - Fisiografia

### 1.3.1 - Hidrografia

Excluindo os rios Apodi e Jaguaribe que são os dois principais cursos de água da região e limitam a área de estudo, a rede hidrográfica secundária de tributários desses grandes rios se desenvolve de forma incipiente. Esse desenvolvimento se faz, na zona leste, a partir de cotas entre 5 e 30 m no vale do Apodi/Mossoró até cotas inferiores a 100 m, numa faixa paralela ao vale principal. Na zona oeste a drenagem superficial tributária da bacia do Jaguaribe fica restrita à faixa que se desenvolve na área de afloramento do arenito Açú inferior, entre o sopé da Chapada do Apodi e os rios Jaguaribe e Quixeré.

Acima da curva de nível de 100 m até a escarpa que bordejia a Chapada do Apodi no setor ocidental, o relevo é bastante plano e praticamente não existe rede de drenagem superficial. Sobre a Chapada as águas superficiais escoam para as zonas cársticas, através dos inúmeros sumidouros naturais ali existentes.

A rede de drenagem e corpos d'água superficiais da área do projeto descrita neste item é ilustrada no mapa da **figura 1.8**. Essa rede se distribui por três bacias hidrográficas:

- a) **Bacia do rio Jaguaribe** a oeste, drena os cursos d'água originados nas vertentes ocidentais da cuesta da Chapada do Apodi. São riachos temporários, de pequena extensão e forte declividade cujas nascentes são condicionadas por fontes que emergem nas encostas a partir dos calcários Jandaíra, nos períodos de recarga. Muitos desses riachos formam lagoas na sua parte terminal, antes de alcançar o rio Jaguaribe. É o caso das lagoas que se observam a noroeste, no mapa da **figura 1.8**, no trecho situado entre os municípios de Jaguaruana, Russas e norte de Quixeré e também a sudoeste, no município de Tabuleiro do Norte, onde se encontra a lagoa da Salina. Nessa bacia hidrográfica a drenagem superficial e subterrânea se realiza sobre os arenitos da Formação Açú aflorante e sobre folhelhos e siltitos da Formação Quebradas.
- b) **Bacia do rio Apodi** situada no leste, drena os cursos d'água formados a partir da linha divisória de águas superficiais que atravessa a área do projeto de sudoeste para noroeste em toda a sua extensão. A partir dessa linha divisória (cujas cotas chegam a 250 m na Serra Mossoró), a drenagem se realiza quase inteiramente no município de Mossoró, através de cursos d'água orientados de NW para SE (riachos Cabelo Negro, Pajeú e Nogueira Grande), e orientados de NNW para SSE (Riacho Grande e Riacho do Junco), em direção ao vale do rio Apodi. Nessa bacia, o desenvolvimento da rede de drenagem superficial se realiza principalmente sobre a Formação Barreiras e secundariamente sobre as porções dos calcários da Formação Jandaíra, interdigitadas por intercalações de folhelhos da Formação Quebradas.
- **Bacia do Riacho Mata Fresca** é a principal bacia de drenagem das águas precipitadas na área de interesse. Situada entre as bacias dos rios Apodi-Mossoró e Jaguaribe, essa bacia, de domínio da União, ocupa a parte principal da área de estudo e inclui a região de fronteira

entre os Estados do Ceará e Rio Grande do Norte. No Ceará, engloba parcialmente os municípios de Jaguaruana, Quixeré, Limoeiro do Norte e Tabuleiro do Norte; no Estado do Ceará são incluídas partes dos municípios de Dix-Sept Rosado, Baraúna e Mossoró. Duas zonas de drenagem distintas podem ser visualizadas dentro dessa bacia:

- **Zona cárstica, sem drenagem superficial** correspondente à porção da bacia, que ocupa todo o setor centro sul e sudoeste da área do projeto, formado por uma superfície estrutural plana, característica da Chapada do Apodi. Esta superfície se desenvolve com mergulho suavemente inclinado na direção geral NE, exibindo inúmeras pequenas depressões isoladas que na verdade são aberturas formadas por fenômenos cársticos. Toda essa área é destituída de rede de drenagem superficial, uma vez que as águas pluviais se infiltram diretamente nos sumidouros e cavernas existentes.
- **Zona cárstica, com drenagem superficial incipiente** pode ser caracterizada, a partir da altura da rodovia Baraúna-Quixeré (RN-015/CE-209), como uma extensão da zona cárstica anterior, porém com uma drenagem superficial incipiente. Nela se encontram os riachos formadores do Mata Fresca, cuja drenagem ultrapassa os limites da área do projeto e prossegue até o seu exutório final, que é o oceano atlântico.

Quanto aos corpos de águas superficiais, destacam-se, no setor leste da área, no município de Mossoró, várias fazendas de aquicultura que aproveitaram a depressão onde havia a antiga Lagoa da Raiz. Ao sul de Mossoró, encontra-se o Açude do Saco, alimentado pelos riachos Bom Sucesso e Nogueira Grande.

Na zona oeste, além das lagoas já mencionadas na zona drenada pelo rio Jaguaribe, ocorre sobre a Chapada, nas proximidades da localidade de Bonsucesso, a Lagoa Pirobaba, exemplo marcante de nascente do Riacho Mata Fresca, que se caracteriza como ponto da transição entre a *zona cárstica sem escoamento superficial* e a *zona cárstica com escoamento superficial incipiente*, ambas definidas no presente trabalho.

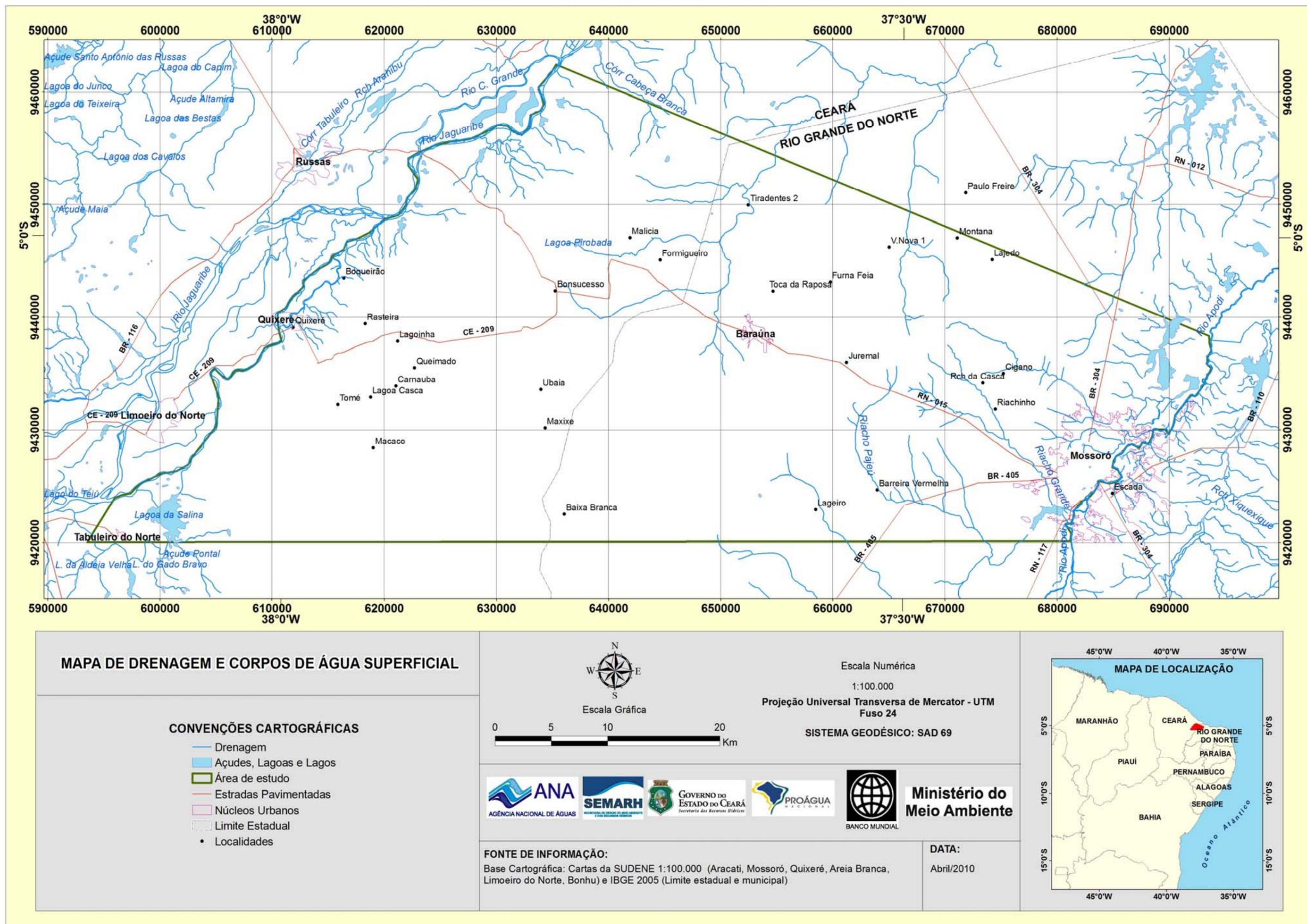


Figura 1.8 - Mapa de drenagem e corpos d'água superficiais da área de estudo.

### 1.3.2 - Solos

As categorias de solos levam em conta i) a rocha que lhe deu origem; ii) o relevo dos terrenos; iii) a textura dos solos e iv) a relação do solo com a vegetação. Assim sendo, os seguintes tipos de solos são identificados na área de estudo.

Lve2- associação de

- ✓ latossolo vermelho amarelo eutrófico, textura média intermediária;
- ✓ podzólico vermelho amarelo equivalente eutrófico, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano;
- ✓ areias quartzosas distróficas fase caatinga hiperxerófila relevo plano;
- ✓ podzólico vermelho amarelo equivalente eutrófico latossólico, textura média fase caatinga hiperxerófila relevo plano.

Esta associação de tipos de solo se origina em sua maior parte de litotipos da Formação Açú, constituídos de arenitos, com a ocorrência de argilas e siltitos no topo.

Ce2- associação de

- ✓ cambissolo eutrófico fraco e/ou moderado, textura argilosa, fase caatinga hiperxerófila relevo plano substrato calcário;
- ✓ vertissolo fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado.

Ce3 – associação de

- ✓ Cambissolo eutrófico com A fraco e/ou moderado, textura argilosa
- ✓ fase caatinga hiperxerófila, relevo plano substrato calcário,
- ✓ textura média, fase caatinga hiperxerófila, relevo plano substrato calcário.

Esta associação se origina predominantemente de litotipos da Formação Jandaíra (k2j) representados por calcarenitos e calcilitos bioclásticos, cinza claro e amarelados, com níveis de evaporitos na base. A região dominada pelos calcários da Formação Jandaíra produz solos de textura média, em geral argilosos, de coloração cinza-clara e/ou creme e encontram-se a uma profundidade de 0,5 m a 1,0 m e frequentemente associados a afloramentos dos referidos calcários. São solos de fertilidade média a alta, apropriados para lavouras e culturas de ciclo longo (algodão arbóreo, sisal, coco e caju), não se prestando para a prática da silvicultura.

RE 1 – associação de

- ✓ solos litólicos eutróficos, textura média argilosa
- ✓ fase rochosa, substrato calcário e afloramentos de rocha
- ✓ caatinga hiperxerófila, relevo plano.

PE11 – associação de

- ✓ Podzólico vermelho amarelo equivalente eutrófico, latossólico textura argilosa
- ✓ fase caatinga hiperxerófila, relevo plano.

V3 – associação de

- ✓ vertissolo, textura indiscriminada e solos aluviais eutróficos da planície do rio Apodi.
- ✓ fase caatinga hiperxerófila, relevo plano, fase floresta ciliar de carnaúba.

V5 - associação de

- ✓ vertissolo, textura indiscriminada e solos aluviais eutróficos
- ✓ fase caatinga hiperxerófila, relevo acentuado na vertente da *cuesta* ocidental da Chapada do Apodi, fase floresta ciliar de carnaúba.

Ae4 – associação de

- ✓ solos aluviais eutróficos, textura indiscriminada
- ✓ fase floresta ciliar de carnaúba, relevo plano, solos halomórficos indiscriminados.

Solo pouco desenvolvido (não hidromórfico). Este tipo de associação se origina dos depósitos aluvionares (Q2a) do rio Jaguaribe.

SK1 – associação de

- ✓ solo halomórfico, textura indiscriminada, fase relevo plano.

No diagrama de pizza da **figura 1.9** é apresentado o percentual de área ocupada por cada uma das classes de solo da área do projeto.

A distribuição espacial das referidas unidades de solos é mostrada no mapa da **figura 1.10**, o qual foi elaborado a partir do Levantamento Exploratório condensado nos Mapas de Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte, na escala 1:600.000 (EMBRAPA, 1971), e do Estado do Ceará, na escala 1:500.000 (EMBRAPA, 1973). O referido levantamento foi executado pelo convênio firmado entre o Ministério da Agricultura e o Ministério do Interior (SUDENE) e está disponível no *site* da EMBRAPA sob a forma de mapas municipais.

A distribuição dos tipos de solos na área de estudo está diretamente associada com a litologia, geomorfologia e altitude, a declividade em que se encontram e ao clima semi-árido característico da área. Os solos predominantes na área são:

### ***Cambissolo Háplico a Eutrófico***

Os Cambissolos Háplicos ocupam 73% da área de estudo. Em geral, são solos minerais não hidromórficos pedogeneticamente pouco evoluídos, com pequena variação textural ao longo do perfil, caracterizados por possuir um horizonte B incipiente (Bi) e pela presença de muitos minerais primários de fácil intemperização. São solos de textura média, em geral argilosos, com teor de argila relativamente uniforme em profundidade, de coloração cinza-clara e/ou creme e encontram-se a uma profundidade de 0,5 m a 1,0 m, frequentemente associados a afloramentos dos calcários.

### Percentual de área ocupada por cada unidade de solo

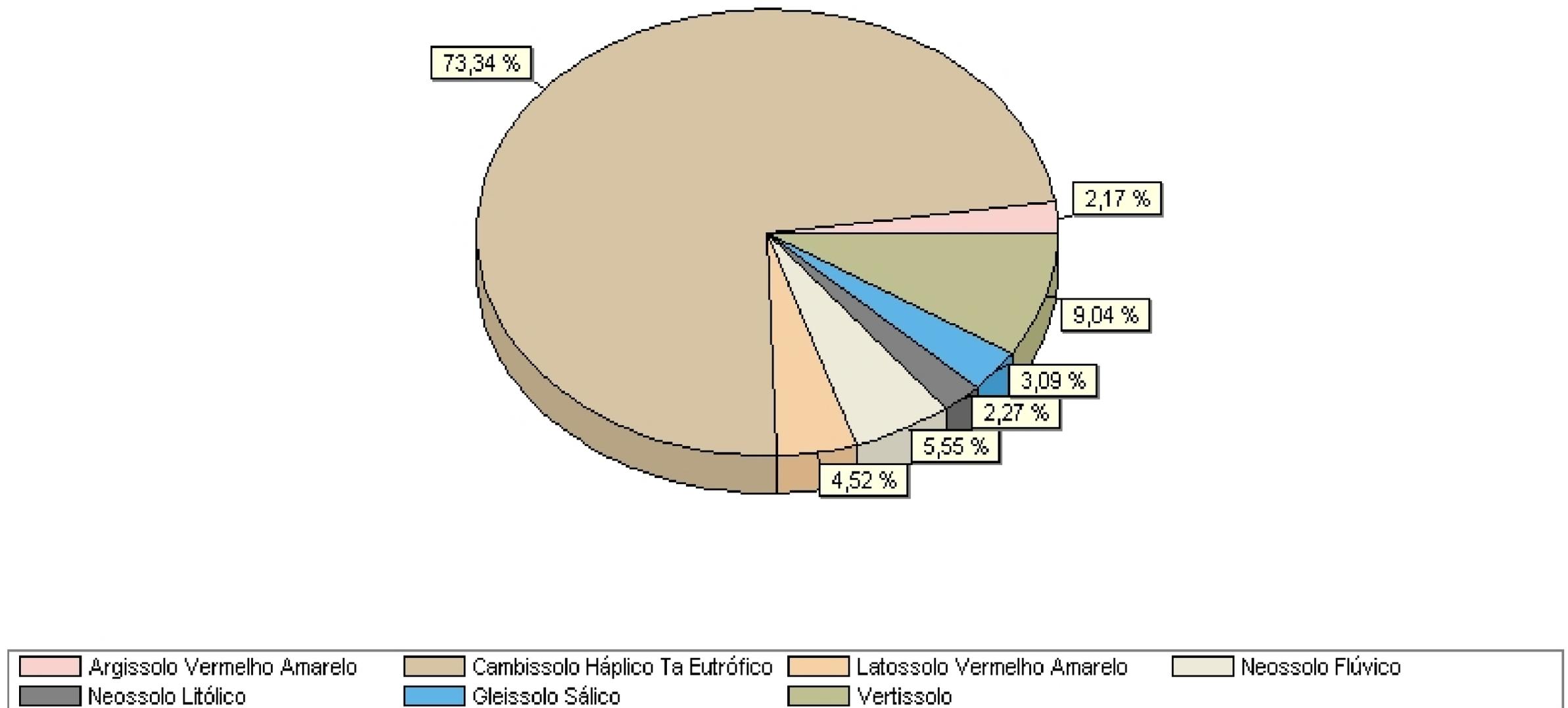


Figura 1.9 - Gráfico representativo do percentual de área ocupada por cada unidade de solo da área de estudo.

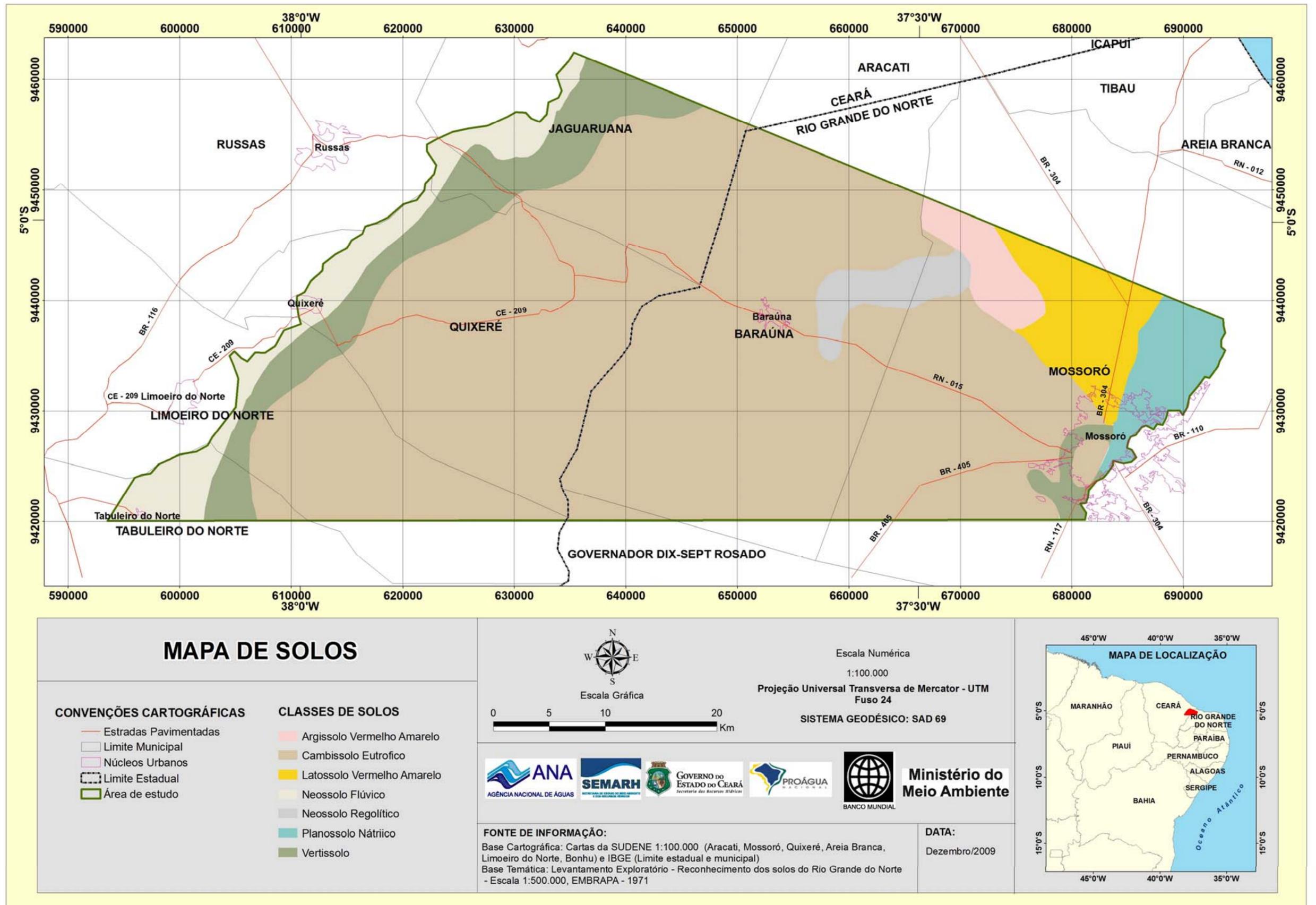


Figura 1.10 - Distribuição espacial dos solos da área de estudo.

Na região semi árida, como é o caso da região da área de estudo, onde a evapotranspiração prevalece sobre as precipitações, os solos em geral são de reação moderadamente ácida à alcalina, com argilas de alta atividade e eutróficos (saturação por bases é maior que 50%), e com soma de bases de média à alta (Araújo Filho, 2000; Guerra & Botelho, 2003).

Na área de estudo se originam predominantemente de litotipos da Formação Jandaíra (k2j) representados por calcarenitos e calcilutitos bioclásticos, cinza claro e amarelados, com níveis de evaporitos na base. Relaciona-se com a vegetação do tipo caatinga hiperxerófila Arbóreo-Arbustiva Densa, com relevo plano a suave ondulado.

São solos de fertilidade média a alta, dependendo da sua profundidade, da declividade do terreno, do teor de silte e do gradiente textural, apropriados para lavouras e culturas de ciclo longo (algodão arbóreo, sisal, coco e caju), não se prestando para a prática da silvicultura.

### **Vertissolo**

Os Vertissolos ocupam 9% da área de estudo e são solos minerais, predominantemente não hidromórficos, argilosos, altamente saturados por bases, com significativa presença de argilas expansíveis e pequena variação no conteúdo de argila ao longo do perfil. Apresentam um horizonte vértico dentro de um metro de profundidade e não apresentam qualquer tipo de horizonte B acima do horizonte vértico (Araújo Filho, 2000). A ocorrência desse tipo de solo está associada ao seu material de origem, derivado de rochas básicas, calcários ou sedimentos argilosos ricos em cálcio e magnésio, como também a partir de biotita-gnaisses, xistos, migmatitos e calcários cristalinos do Pré Cambriano Superior a condições de clima com seca pronunciada e/ou relevo que favoreça a permanência das bases no solo (Oliveira *et al.* 1992 apud Guerra e Botelho, 2003).

Em termos físicos são solos problemáticos face ao alto conteúdo e a natureza expansiva das argilas (argilas do tipo 21, grupo das esmectitas) e, portanto responsável pela contração, durante o período da seca, e expansão, na época chuvosa. Esses movimentos de contração e expansão geram aparecimento de fendas profundas e periódicas (a época da estiagem) e das superfícies de fricção (slickenside) típicas, resultante do deslocamento do material argiloso.

São solos com coloração acinzentada a preta e são eutróficos. A drenabilidade ao longo do perfil varia de moderada a imperfeita e a permeabilidade de lenta a muito lenta, em função da baixa porosidade do horizonte C vértico. Tal fato é responsável pela alta erodibilidade desses solos.

São solos considerados de alta fertilidade natural, mas com problemas físicos (extremamente duros quando secos e muito pegajosos quando molhados), deficiência de drenagem (solos com permeabilidade muito lenta quando úmidos), podendo ter alguns problemas de sodicidade, e, ou, salinidade, além de déficit hídrico acentuado na região semi-árida.

Na área de estudo estão associados aos neossolos flúvicos da Planície do Rio Apodi, de relevo plano, na porção leste da área de estudo, e ao relevo acentuado na vertente da cuesta ocidental da Chapada do Apodi, com vegetação do tipo caatinga hiperxerófila (fase floresta ciliar de carnaúba);

### ***Neossolo Flúvico***

Os Neossolos Flúvicos ocupam 6% da área de estudo e compreende solos minerais não hidromórficos, pouco evoluídos, formados por sobreposição de camadas de sedimentos aluviais recentes sem relações pedogenéticas entre os estratos. As camadas normalmente apresentam espessura e granulometria bastante diversificada, tanto no sentido vertical como no sentido horizontal dos perfis do solo, dado a heterogeneidade e as formas de deposição do material originário. São, portanto, solos que apresentam um horizonte diagnóstico de superfície A e abaixo deste normalmente havendo uma sucessão de camadas estratificadas C de natureza hidromórfica. Em termos geológicos são desenvolvidos de sedimentos recentes referidos ao período Neógeno (Araújo Filho, 2000). Na área de estudo se originam dos depósitos aluvionares (Q2a) do rio Jaguaribe (porção oeste). Estão associados com vegetação do tipo floresta ciliar de carnaúba e relevo plano.

### ***Neossolo Litólico***

Os Neossolos Litólicos ocupam 2% da área de estudo e ocorrem, geralmente, em áreas de topografia acidentada, associados a afloramento de rocha. São solos pouco evoluídos, rasos com no máximo 50 cm de espessura até o contato com o substrato rochoso, de textura e fertilidade variáveis, estando essa última relacionada, principalmente, ao material de origem e ao clima. Apresentam alto teor de minerais primários facilmente intemperizáveis e fragmentos de rocha. Caracterizam-se pela presença de um horizonte A sobre a rocha ou sobre um horizonte C pouco espesso, sendo admissível a presença de um ínfimo horizonte Bi (Guerra & Botelho, 2003).

São solos que guardam íntima relação com o material de origem e comumente apresentam na sua constituição fragmentos ou pedaços de rochas em diversos estágios de decomposição, presença significativa de minerais primários de fácil decomposição, cascalhos, calhaus, entre outras frações grosseiras.

São, portanto, considerados solos com baixo potencial ou inadequados para a atividade agrícola, por isso, são mais recomendados para a preservação ambiental.

Na área de estudo são derivados do substrato Calcário, com afloramentos de rochas, com caatinga hiperxerófila em superfície e com insignificantes áreas de uso agrícola, devido ao fato desta área constituir-se em uma das maiores áreas Reserva Legal do Estado.

### ***Latossolo Vermelho Amarelo***

Os Latossolos Vermelho Amarelos ocupam 5% da área de estudo. Estes solos apresentam as características gerais dos latossolos, mas que se individualizam em nível hierárquico imediatamente abaixo por critério de cor. São solos que apresentam horizonte B latossólico (Bw), caracterizado por avançado estágio de intemperização; formação de argila de baixa atividade; capacidade de troca catiônica (CTC) baixa; boa agregação; estrutura comumente granular; e com pouca ou nenhuma acumulação de argila iluvial (translocada do horizonte mais superficial), bastante porosos e permeáveis, de textura que varia de média a muito argilosa e com predomínio de argilominerais do grupo 11 (caulinítico-gibbsítico), quartzo e outros minerais altamente resistentes a intemperização. Em geral apresentam reduzida suscetibilidade a erosão, devido a boa permeabilidade e a baixa relação

textural B/A (pouca diferenciação do teor de argila do horizonte A para o B). De modo geral são solos de boas condições físicas e de fácil manejo, constituem solos com bom potencial agrícola para culturas diversificadas, principalmente, com irrigação, como por exemplo a fruticultura irrigada.

Os Latossolos Vermelho Amarelos, na área de estudo, têm como formação geológica e litologia associada o calcário da Formação Jandaíra do Cretáceo Superior e possuem como material originário calcário fino fossilífero com provável influência de material retrabalhado. O relevo é plano a suave ondulado, com altitudes variando de 100 a 150 metros (Brasil.RADAM, 1981). Vegetação local de caatinga hiperxerófila arbórea, com substrato de macambira em algumas áreas e há a presença de culturas agrícolas.

### ***Gleissolo Sílico***

Os Gleissolos Sílicos, que na antiga classificação eram chamados de Solonchak (Bezerra, 2006), ocupam 3% da área de estudo. São solos halomórficos com elevados teores de sódio trocável. Tem normalmente horizonte A1 pouco espesso. É verificada nesses solos a presença de horizonte sílico. Em épocas secas observam-se crostas de sais cristalinos nas superfícies das áreas onde ocorrem esses solos, com alta concentração de sais solúveis.

As camadas que constituem os solos dessa classe tem grande variação em suas características morfológicas. As más condições de drenagem ocasionam o aparecimento, nas camadas subjacentes ao horizonte superficial, de mosqueados e/ou cores de redução provenientes da gleização (Brasil.RADAM, 1981).

Quando originados de deposições superficiais recentes, assemelham-se aos solos aluviais, tendo nas características químicas - alta salinidade – a principal diferenciação.

Ocorrem na zona litorânea em relevo Plano e nas várzeas próximas às desembocaduras de alguns rios.

A alta salinidade e difícil manejo desses solos, bem como as adversas condições climáticas das áreas onde ocorrem, constituem fatores de grande restrição para seu uso agrícola.

Possui como material originário, sedimentos argilo-siltosos, dos depósitos aluvionares do Holoceno. É composta por vegetação do tipo campo de várzea halófilo e floresta ciliar de carnaúba

Localizados, na margem esquerda da BR – 304, no trecho Aracati-Mossoró, esses solos são atualmente utilizados, em sua maior parte, para criação de camarão e alguns trechos com agricultura.

### ***Argissolo Vermelho Amarelo***

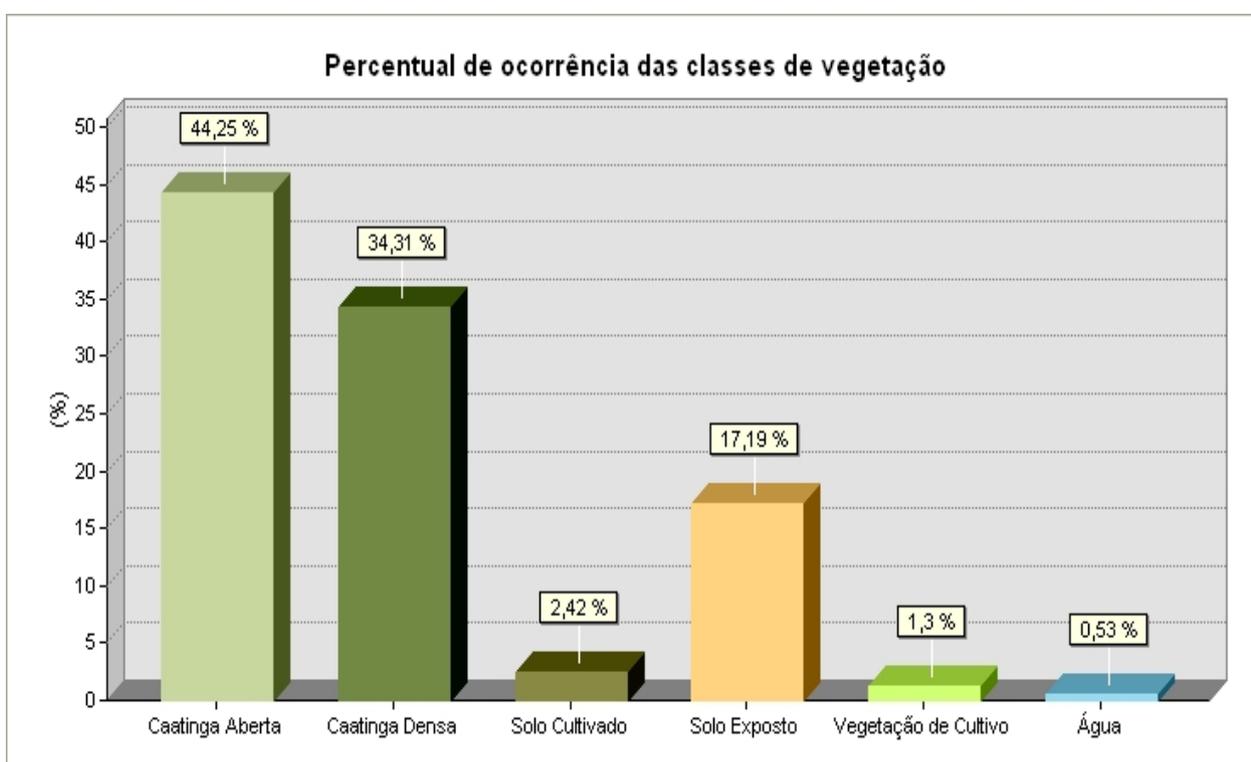
Os Argissolos Vermelho Amarelo ocupam 2% da área de estudo. Os solos eutróficos dessa classe estão, normalmente, associados ao material de origem e/ou ao clima mais seco. São solos com horizonte B textural (Bt), caracterizado por acumulação de argila, por iluviação, translocação lateral interna ou formação no próprio horizonte. Em geral apresentam diferenças significativas no teor de argila entre os horizontes A e B, passando de um horizonte superficial mais arenoso, para um horizonte

subsuperficial mais argiloso. Tal fato pode apresentar um obstáculo à infiltração ao longo do perfil, diminuindo sua permeabilidade e favorecendo o escoamento superficial e subsuperficial na zona de contato entre os diferentes materiais (Guerra & Botelho, 2003). São solos de muito baixa até média fertilidade natural.

### 1.3.3 - Vegetação

A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila composta, sobretudo, de plantas cactáceas. Contudo, o extrativismo da madeira, juntamente com a exploração agrícola do algodão e mais recentemente da fruticultura, acabaram por produzir o desaparecimento de grande parte dessa vegetação.

Foram definidas para a área de estudo 06 (seis) classes de vegetação caatinga aberta, caatinga densa, solo cultivado, solo exposto, vegetação de cultivo e água. Conforme pode ser observado no histograma da **figura 1.11**, a maior parte da área de estudo é ocupada por caatinga aberta (44,25%), seguido de caatinga densa 34,31% e solo exposto, que ocupa 17,19% da área de estudo. Os totais em km<sup>2</sup> das respectivas áreas são apresentados na **tabela 1.10**.



**Figura 1.11** - Gráfico com o percentual de ocorrência das classes de vegetação na área de estudo.

**Caatinga** A área de estudo tem como vegetação predominante a Caatinga Hiperxerófila de porte arbóreo e arbustivo. A vegetação de porte arbóreo foi classificada tematicamente como caatinga densa, através da análise do NDVI. A caatinga de porte arbustivo classificou-se como caatinga aberta devido a sua configuração na imagem de forma espaçada, esses dois tipos de vegetação encontram-se distribuídos por quase toda a área de estudo (44,2% da área de estudo é ocupada pela caatinga aberta e 34,31 % é ocupada pela caatinga densa).

**Tabela 1.10** - Valores das áreas das classes temáticas referentes ao mapa de Classes de Vegetação.

Classe Temática	Área - Km <sup>2</sup>	Percentual
CAATINGA ABERTA	1143,93	44,24
CAATINGA DENSA	887	34,31
ÁGUA	13,61	0,52
SOLO CULTIVADO	62,47	2,41
SOLO EXPOSTO	444,50	17,9
VEGETAÇÃO DE CULTIVO	33,67	1,3
<b>TOTAL</b>	<b>2587,90</b>	<b>100,00</b>

As características do bioma caatinga apresentam algumas peculiaridades relacionadas com adaptações climáticas e mecanismos diferentes de absorção e retenção de água por parte dos solos, caracterizando-se por perder suas folhas no período seco. Nesse período, a reflectância dos solos é predominante, sendo, assim, estas áreas classificadas como solo exposto. No período chuvoso, ou até um mês depois deste, a vegetação se recupera, nesse caso, a reflectância da vegetação é mais significativa, fazendo com que nessas áreas sejam identificados os tipos de vegetação e o seu porte. De acordo com Braga (2003) o tempo de resposta da vegetação de caatinga à precipitação é de apenas 01 (um) mês.

**Vegetação de Cultivo** Esta classe temática inclui a área cultivada no momento do imageamento do satélite e representa apenas 1% da área de estudo. Este elemento apresentou uma resposta espectral de uma vegetação diferenciada das outras, além de uma geometria típica estabelecida pela forma de talhões. Essa classe temática tem maior concentração nos municípios de Baraúna (RN), Quixeré e Limoeiro do Norte (CE) e ocupa 1,3% da área de estudo.

**Solo Cultivado** Contempla as áreas com características de um solo exposto e com indicações da presença de vegetação além de conter uma geometria relacionada a forma de talhões. Essa classe concentra-se na porção oeste da área de estudo nos município de Quixeré, Limoeiro do Norte e Jaguaruana (CE) e ocupa 2,41% da área de estudo.

**Solo Exposto** Classe temática que engloba áreas com solo sem presença de cobertura vegetal em sua totalidade ou parcialmente e também áreas urbanas, impermeabilizadas por pavimentos e construções de edificações.

A distribuição espacial das diferentes classes de vegetação pode ser vista no mapa da **figura 1.12**.

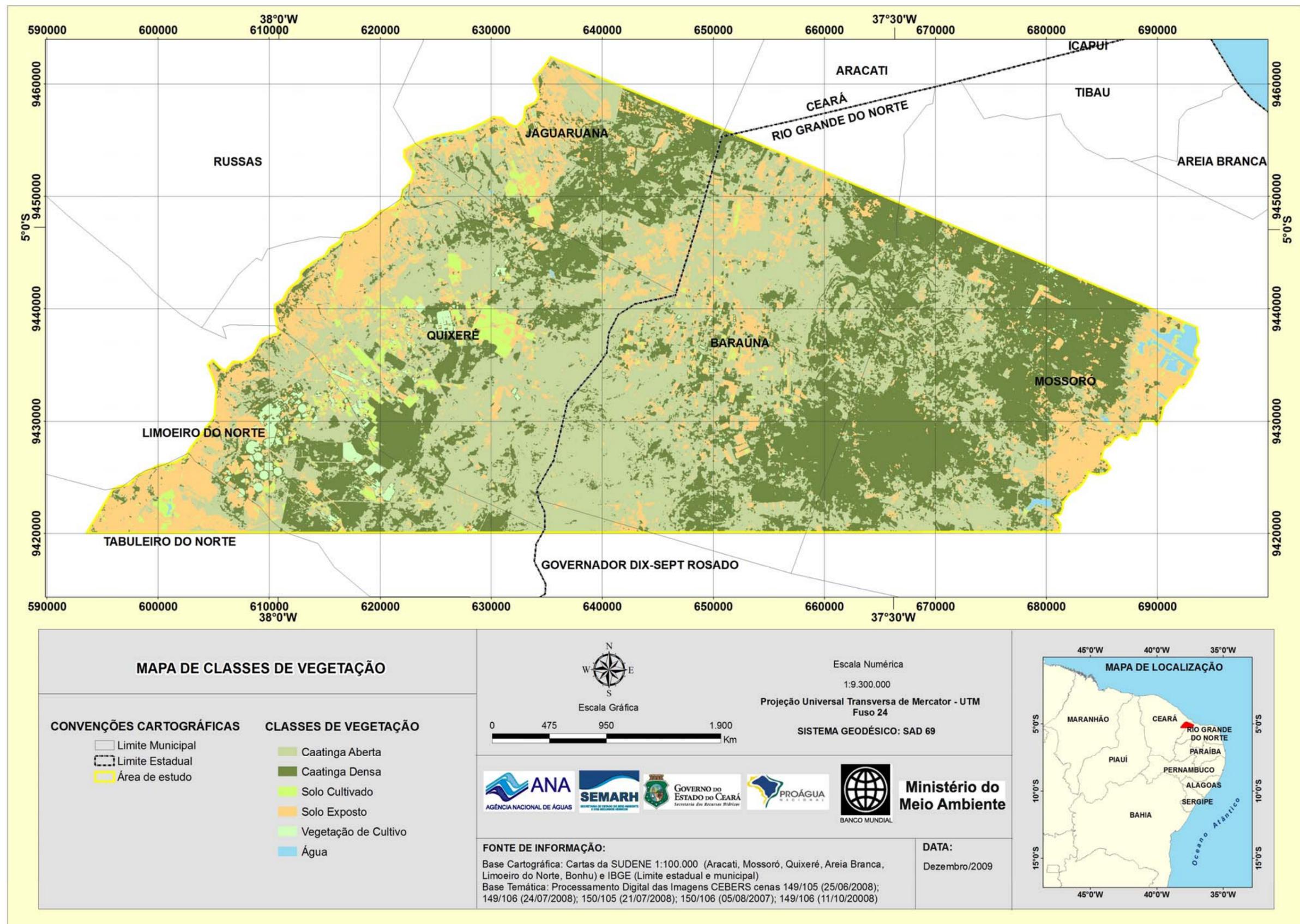


Figura 1.12 - Mapa de distribuição das classes de vegetação da área de estudo a partir do processamento digital de imagens.

### 1.3.4 - Geomorfologia

A área de estudo apresenta relevo quase plano com declives bastante suaves por tratar-se de uma superfície estrutural desenvolvida sobre calcários da Formação Jandaíra. O mergulho geral dessa superfície se realiza para o mar.

Constituindo a Chapada do Apodi, a referida superfície pertence à chamada *Plataforma Oeste* da bacia sedimentar do Apodi, na qual os calcários estão recobertos por manchas isoladas da Formação Barreiras que alcançam cotas variáveis de mais de 100 m até aproximadamente 140 m.

Três feições morfológicas principais podem ser destacadas, como pode ser visto na **figura 1.13**:

- ✓ Os *Vales* dos rios Apodi/Mossoró, a leste, e do rio Jaguaribe a oeste, com cotas que variam de 0 na linha costeira até 50 m;
- ✓ As *Encostas da Chapada*, numa faixa de cotas compreendidas entre 50 e 100 m, intermediária entre os vales dos dois grandes rios mencionados e a Chapada do Apodi. Nessa faixa, com largura que varia de 10 km a 25 km, a declividade do terreno supera os 5 m/km e possibilita o desenvolvimento de uma rede de drenagem superficial marcada pela presença de vários riachos. Esses riachos escoam, a partir da Chapada, principalmente para leste em direção ao vale do Apodi e para norte em direção ao oceano.
- ✓ A *Chapada do Apodi*, cujo relevo se desenvolve entre as cotas de 100 m e 150 m aproximadamente, apresentando declividades inferiores a 2 m/km na qual praticamente inexistente rede drenagem superficial. Essa ausência de rios e riachos sobre a Chapada é explicada pelo fato de existirem inúmeros sumidouros cujo desenvolvimento foi condicionado por fenômenos cársticos que atuaram sobre os calcários da Formação Jandaíra.

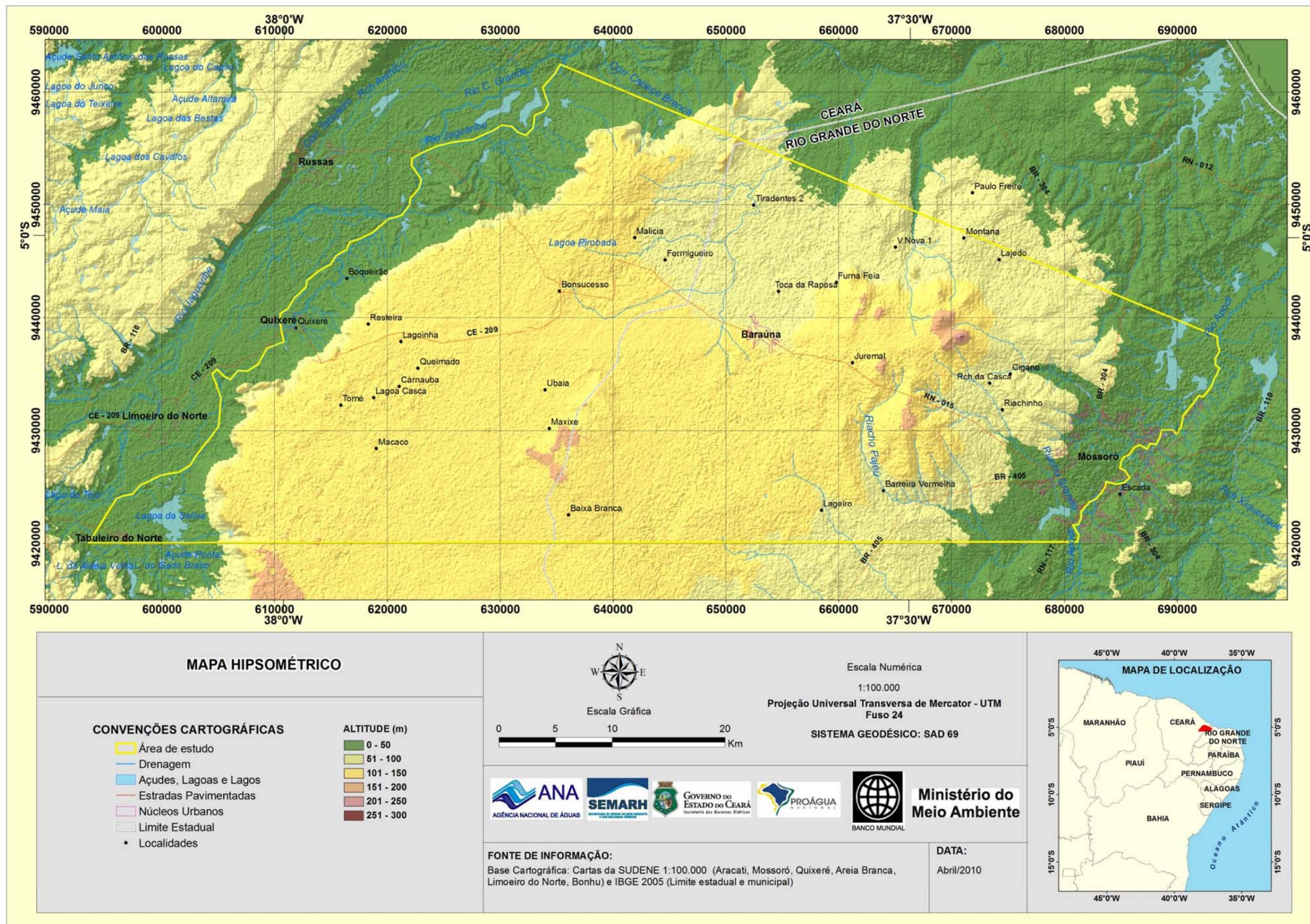


Figura 1.13 - Mapa Hipsométrico da área de estudo.

No mapeamento das estruturas do calcário Jandaíra, realizado em campo, as feições cársticas foram identificadas com vistas à caracterização da sua *geometria*, tomando como referência os conceitos descritos nos itens a seguir (3.4.1, 3.4.2 e 3.4.3) transcritos e adaptados de Florenzano *et al.* 2008 e GEDT, 2009.

#### 1.3.4.1 - Relevo Cárstico

Define-se como *relevo cárstico* ou *carste*, o conjunto de feições subterrâneas e superficiais formadas em rochas calcárias. O termo Karst significa campo de pedras calcárias e tem origem na região de Rjeka, ao norte do mar Adriático, na ex-Iugoslávia.

O relevo cárstico é caracterizado por formas específicas que se desenvolvem devido à ação das águas subterrâneas, águas pluviais e fluviais. Porém, outros fatores são igualmente importantes, como pureza do calcário, clima, cobertura vegetal e a posição geomorfológica do pacote rochoso, que deverá conter uma porção acima do nível hidrostático, para que haja a livre circulação da água meteórica que infiltra.

O poder de dissolução da água torna-a o principal agente de elaboração do relevo cárstico. Na formação Jandaíra, diferentemente da formação Açú, as juntas e planos de acamamento sofrem um aumento da largura com a circulação da água e o processo de dissolução, em curto espaço de tempo na escala geológica. Dessa forma, as descontinuidades presentes no calcário tornam-se zonas que favorecem a percolação de água, formando caminhos preferenciais para o processo de hidratação e dissolução (Florenzano *et al.* 2008).

Na formação Jandaíra serão investigadas e estudadas as diferentes e especiais formas de relevo cárstico:

- ✓ exocársticas – relevos superficiais do carste desenvolvidos nas zonas de absorção das águas (poljes, uvalas e dolinas);
- ✓ endocársticas – formas subterrâneas, entre as quais se destacam as cavernas.

#### 1.3.4.2 - Origem das Cavernas

Os fenômenos responsáveis pelo desenvolvimento das cavernas estão submetidos a vários processos geológicos e climáticos que modelam o relevo da superfície e do subsolo, geralmente composto por rochas carbonáticas, que são solúveis, como é o caso dos calcários, carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e dolomitos, carbonato de cálcio e carbonato duplo de cálcio e magnésio –  $\text{MgCa}(\text{CO}_3)$ .

Em regiões calcárias a ação da água ácida através de drenagem, sobretudo subterrânea, condiciona processos químicos (corrosão e dissolução) e físicos (erosão), responsáveis pela formação de um relevo cuja paisagem característica tem aspecto ruiforme, esburacado, frequentemente em vales fechados, onde são visíveis as **macroformações** (dolinas, torres, pontes, arcos de pedra, grandes paredes verticais, canyons, sumidouros, ressurgências, abismos, cavernas) e as **microformações** (lápias e espeleotemas).

As cavernas que podem ou não estar presentes, são uma das formas no karst, e nelas se pode encontrar uma vastíssima gama de macro e microformas, que incluem galerias, câmaras e outros condutos.

A ação de dissolução irregular e descontínua da água ácida que penetra pelo solo, alcança a rocha, por meio de suas fendas, fraturas, laminações, formando principalmente as microformas, como estalactites, estalagmites, colunas, cortinas, vulcões, flores, helictites, lápias etc.

Inúmeros fatores contribuem para a formação do karst. Dentre eles a composição do solo, o tipo de vegetação (mata tropical, raízes, quantidade de detritos, líquens), o clima (índice pluviométrico, temperatura, ventos), e outros (mineralizações existentes e diferentes intensidades de ação físico-química do clima e da água), interferem diretamente na morfologia do karst.

#### 1.3.4.3 - Feições Cársticas

Como já citado, o karst representa um tipo peculiar de relevo caracterizado por feições de pequenas e grandes dimensões que lhe confere aparência esburacada e ruiforme. Tais feições são geralmente englobadas em dois grandes grupos:

- ✓ **Formas Cársticas Primárias – destrutivas** – compreendendo formas superficiais dolinas, poljes, lápias, torres, canyons, pontes, arcos, sumidouros, ressurgências etc. e formas subterrâneas cavernas em suas múltiplas formas. Tais feições são mais frequentemente macroformas;
- ✓ **Formas Cársticas Secundárias – construtivas** – embora não exclusivas, são mais frequentemente subterrâneas, correspondendo aos denominados espeleotemas estalactites, estalagmites, colunas, helictites, cortinas etc.

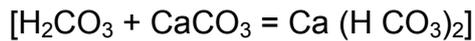
Os mecanismos de ação para a formação das feições cársticas, podem ser descritos como ações físico-químicas corrosão, dissolução, erosão, transporte, abatimento.

- **Erosão** – ataque e retirada de material rochoso por via mecânica (física), por água, vento, neve, plantas, animais;
- **Abrasão** – forma de erosão provocada pelo atrito de areia ou partículas sólidas trazidas por ventos ou ondas;
- **Corrosão** – ataque por agentes químicos que modificam as rochas levando a sua dissolução e transporte. Esse fator é considerado a principal forma de ação para a formação do relevo cárstico e de maneira simples ocorre da seguinte ordem:

a) Água (H<sub>2</sub>O) da chuva capta gás carbônico (CO<sub>2</sub>) da atmosfera ou do solo, formando uma solução ácida – ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>);



b) Água ácida (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) escorre pela rocha calcária – carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), por sua superfície ou por fendas, ranhuras, lâminas, juntas, fraturas, ataca e modifica a rocha formando o bicarbonato de cálcio (CO (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) solúvel, que dissolve-se e é transportado pela água.



As feições cársticas superficiais ou exocársticas podem ainda ser subdivididas em feições reentrantes e feições remanescentes.

- **Formas Reentrantes** – são normalmente feições côncavas ou esburacadas dolinas, poljes, lagoas cársticas, uvalas, vales cegos, canyons, sumidouros, ressurgências, cavernas, produzidas por dissolução da rocha;
- **Formas Remanescentes** – são feições salientes testemunhos do modelo original, representando as áreas que resistiram a ação do tempo após o processo de desgaste torres de pedra, morros, arcos.
- **Formas Mistas** – são feições formadas por áreas de dissolução e áreas remanescentes conhecidas genericamente como *lápias*.

**Dolinas** – são depressões fechadas que se formam em rochas solúveis, tendo várias formas em sua abertura, podendo variar de poucos centímetros a dezenas de metros, em geral, mais largas que profundas.

São originadas por:

- ✓ **Dissolução** – quando rochas carbonáticas sofrem, na superfície, corrosão e dissolução por águas ácidas provocando a formação de depressões normalmente mais larga que profunda. Em alguns casos, um percurso de água se forma para a profundidade, chamando-se, então, de **dolinas aluviais**;
- ✓ **Colapso ou Abatimento** quando devido a presença de uma cavidade mais profunda, ocorre o desabamento de seu teto, surgindo uma depressão na superfície, que pode ou não, se comunicar com o interior da cavidade.

Quanto à forma, podem ser chamadas de:

- ✓ **Tigela** – largura dez vezes maior que a profundidade, bordas pouco inclinadas, e fundo plano;
- ✓ **Funil** – diâmetro duas a três vezes maior que a profundidade, bordas bem inclinadas e fundo estreito;
- ✓ **Poço** – diâmetro bem menor que a profundidade, bordas quase verticais, fundo com diâmetro próximo a abertura;
- ✓ **Caldeirão** – largura, fundo e profundidade com tamanhos próximos;
- ✓ **Dolina em Trincheira** – tipo peculiar com comprimento muito maior que a largura, provocado por desabamento de longo trecho de cavernas e galerias, podendo, quando muito longo, formar um **canyon de desabamento**.

Quanto à presença de água, podem ser:

- ✓ **Secas**;
- ✓ **Úmidas**.

As dolinas presentes no calcário Jandaíra serão notadamente estudadas, com vistas à caracterização de sua geometria, que como já visto apresenta grandes

variações de *forma* (cônica, cilíndrica, prato, bacia, tigela), *dimensão* (variando de alguns a mais de uma centena de metros) e *profundidade* (atingindo centenas de metros). Assim, por exemplo, as dolinas desenvolvidas em dolomito caracterizam-se por formas regulares e vertentes menos inclinadas, enquanto aquelas desenvolvidas em calcário têm formas irregulares, vertentes mais íngremes e maior quantidade de material depositado no fundo (Florenzano *et al.* 2008).

**Uvalas** – são estruturas formadas pela junção de dolinas vizinhas.

**Poljes** – são depressões fechadas de grande dimensão, que podem atingir vários quilômetros, exibindo paredes abruptas com fundo plano, em geral impermeável. Quando inundadas formam uma ***lagoa cárstica***.

**Vales Secos** – vales formados por ação da água, porém, depois se tornam secos por ausência desta (falta de chuva ou abaixamento de nível d'água).

**Vales Cegos** – vales fechados onde a água penetra no solo por sumidouros.

**Canyons Cársticos** – grandes e longos vales de rochas calcárias dissolvidas e rochas resistentes remanescentes.

**Muralhas ou Falésias Rochosas** – paredes íngremes, de maciços calcários extensos e mistos, onde diversas formações são notadas – torres, estrias verticais, arcos, lápias ou anfiteatros cársticos (quando a água dissolve sua base formando uma concavidade até túneis ou passagens) etc.

**Lápias** – inclui um vasto conjunto de feições mistas assemelhadas que contemplam estruturas em depressão (feições reentrantes) e estruturas em relevo (feições remanescentes). De acordo com o seu aspecto morfológico, podem ser chamadas de canaletas, caneluras, meandros, furos, poços pegadas, marmitas.

O mapa das estruturas e feições cársticas criadas por fenômenos de dissolução a partir de estruturas rúpteis que afetaram as rochas carbonáticas da área de estudo, é apresentado no mapa da **figura 1.14**. Nele distinguem-se três categorias de feições cársticas dominantes em ordem de importância na área de estudo dolinas, sumidouros e cavernas.

- ✓ ***Dolinas*** as dolinas são as formas mais amplamente disseminadas na área do projeto, concentrando-se especialmente na região próxima à borda ocidental da Chapada do Apodi, em torno da localidade de Lagoinha, no município de Quixeré e secundariamente na região ao sul da localidade de Tomé, no município de Limoeiro do Norte. Ainda nesses municípios do Estado do Ceará, outras ocorrências de dolinas se fazem presentes no setor sul da área do projeto, a sudeste da localidade de Macaco. No Rio Grande do Norte as dolinas ocorrem em número bem mais reduzido e de forma dispersa.
- ✓ ***Sumidouros*** os sumidouros da área de estudo se distribuem principalmente numa ampla faixa de direção geral NE-SW, que tem início ao sul de Tiradentes 2, na altura da linha que une as localidades de Toca da Raposa, no município de Baraúna e Formigueiro, no município de Jaguaruana, na região fronteira dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Essa faixa avança até o extremo sul da área do projeto, cortando a linha que une as localidades de Macaco, na fronteira

municipal de Quixeré e Limoeiro do Norte, e Baixa Branca, no município de Baraúna.

- ✓ **Cavernas** ficam restritas ao município de Baraúna e ocorrem em pequeno número, em relação às duas outras feições cársticas acima descritas. As suas ocorrências, todavia, serão especificamente descritas e ilustradas com fotografias no capítulo 3.

Ainda no município de Baraúna, encontra-se ao norte de Juremal, o Complexo Espeleológico da Furna Feia, que reúne em um só lugar, todo um conjunto de feições cársticas que incluem dolinas, sumidouros e cavernas.

No setor leste da área foram mapeadas dolinas ao sul da BR-405 a sudeste de Barreira Vermelha e a noroeste do Açude do Saco na região sudoeste da cidade de Mossoró.



## 1.4 – Uso e ocupação do solo

### 1.4.1 - Introdução

De acordo com a FUNDAÇÃO IDEC (2008), a economia da região da Chapada do Apodi inicialmente destacou-se com a exploração da madeira nas décadas de 1940 e 1950. Não havia uma consciência de preservação ambiental que evitasse a devastação da mata nativa da região do semi-árido. Em seguida veio a cultura do algodoeiro nos anos de 1960 a 1980, que só deixou de ser a principal cultura da região, depois que surgiu a praga do Bicudo, que dizimou os plantios de algodão causando danos incalculáveis aos agricultores.

Posteriormente em 1990, iniciou-se a perfuração de poços, criando condições para o crescimento da agricultura irrigada, com a expansão da Fruticultura, através de produtos de alto valor comercial, como é o caso do melão. A partir daí, houve uma grande expansão na atividade econômica da fruticultura irrigada, voltada principalmente para o mercado externo e atendendo também a demanda do mercado interno, com as culturas de melão, melancia, mamão, manga, banana, etc. A partir de 1998 surgiu na região a mosca branca, uma praga que provoca muitos danos nas culturas principalmente na do melão. Outras pragas também causam danos nas demais culturas exploradas, aumentando consideravelmente o custo de produção, por unidade de plantio, em função das despesas com os defensivos agrícolas, que representam uma alta porcentagem no custo de produção de um hectare de qualquer cultura.

O crescimento industrial na região é muito pouco, comparado com o da agricultura. Existe em funcionamento uma fábrica de cimento, da marca Poty e outra que está sendo instalada pela Votorantim. Em Barrinha, próximo de Baraúna, existe a Integral Agroindustrial de Mossoró Ltda, que produz adubos orgânicos, o *polifértil* e o *bio turbo*. Pequena parte da área é ocupada por salinas e pela cultura de camarão.

O comércio, de um modo geral, cresceu bastante em todos os seguimentos em função da grande demanda decorrente do crescimento populacional. O segmento das firmas fornecedoras de insumos básicos para a irrigação e para a exploração das culturas foi o que mais cresceu em vendas de fertilizantes e agrotóxicos.

No Baixo Jaguaribe, o desenvolvimento agrícola a partir de perímetros de irrigação também se verifica de forma considerável, tanto a partir de água superficial quanto subterrânea. Segundo o CSBH (2008), merecem destaque, pelo uso de **água superficial**, inclusive do Canal do Trabalhador, os seguintes usuários:

- ✓ -Distrito de Irrigação - Tabuleiros de Russas onde são irrigados 2.500ha, com possibilidades de inserir mais 1.600 ha;
- ✓ Federação das Associações do Perímetro Irrigado Jaguaribe Apodi – FAPIJA possui atualmente uma área de aproximadamente 5000 ha, incluindo as empresas Del Mont Quality Abacaxi, Banesa, a demanda em termos de volume atinge ao ano 85 milhões de metros cúbicos;
- ✓ - Perímetro Irrigado de Jaguaruana possui atualmente uma área irrigada de 231 ha, dos 334 da área total;

- ✓ Carcinicultura é praticada nos municípios de Russas, com uma área aproximada de 30 ha; Jaguaruana, com uma área de aproximada de 80 ha; Itaiçaba, com uma área aproximada de 50 ha; Aracati 1.200 ha;
- ✓ Baquit, possui uma área aproximada de 800 ha de arroz e 300 de fruticultura;
- ✓ Itaeira, possui uma área aproximada de 300 a 500 ha, mas retira do Canal do Trabalhador;
- ✓ Riacho Araibu, possui uma área aproximada de 2.000 ha, mas para ser efetivamente utilizada faz-se necessária a perenização do referido riacho;

Na Chapada do Apodi já existe um expressivo número de empresas utilizando **água subterrânea** para fruticultura e demais usos a partir de poços tubulares, como é o caso de:

- ✓ - J. S. Tropical
- ✓ - Del Mont Quality Melão
- ✓ - Carbomil Química S.A
- ✓ - Fruta Cor
- ✓ - Fazenda Agrícola Formosa Ltda.
- ✓ - Fazenda Sol Nascente
- ✓ - F. M. Dias Reciclagem
- ✓ - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Quixeré – SAAE - Lagoinha
- ✓ - Balneário do Leomar
- ✓ - Fazenda Queimadas
- ✓ - Eco Fértil – Fertilizantes Orgânicos
- ✓ - Agro Jaguar Importadora e Exportadora Ltda
- ✓ - Intermel Comércio Exportação e Importação Ltda
- ✓ - Angel Agrícola Ltda
- ✓ - Nolem Comercial Exportadora e Transportadora S.A
- ✓ - Bessa Produção
- ✓ - Odilon Xavier Batista
- ✓ - Sítio Córrego do Machado
- ✓ - Ypióca Agroindústria Ltda
- ✓ - Fazenda Santana

A partir da análise das imagens do satélite CBERS-2 e CBERS-2b, desenvolvidos pelo Instituto Nacional de pesquisas Especiais (INPE), foi possível identificar na área de estudo 6 (seis) classes de uso e ocupação do solo. *área urbana, agricultura, água, solo exposto, vegetação natural e vegetação ciliar*. As áreas totais em km<sup>2</sup> e os respectivos percentuais de ocupação de cada uma dessas classes estão indicados na **tabela 1.11** e também ilustrados no histograma da **figura 1.14**. Nota-se

que a área de estudo possui, em sua maior parte, domínios classificadas como vegetação natural (83,4%) seguida das áreas com agricultura (10,1%), A distribuição espacial das respectivas classes de uso e ocupação do solo é ilustrada no mapa da **figura 1.15**.

**Tabela 1.11** - Valores das áreas das classes temáticas referentes ao mapa de Uso e Ocupação do Solo.

Classe Temática	Área - Km <sup>2</sup>	Percentual
ÁREA URBANA	43,38	1,7
AGRICULTURA	260,38	10,1
ÁGUA	32,49	1,3
SOLO EXPOSTO	93,72	3,6
VEGETAÇÃO NATURAL	2157,67	83,4
VEGETAÇÃO CILIAR	0,33	0,01
<b>TOTAL</b>	<b>2587,90</b>	<b>100,00</b>

A seguir serão descritas as classes de uso do solo encontradas na área de estudo a partir do processamento digital de imagens.

**Áreas Urbanas** Representação dos espaços urbanos que estão envolvidos na área de estudos, dos quais no Rio Grande do Norte, a cidade de Mossoró é o centro de maior expressão, seguido de Baraúna. No Ceará destacam-se as cidades de Limoeiro do Norte e Quixeré como as mais expressivas Esta classe abrange 1,7% da área.

**Vegetação Natural** Foram considerados nesta classe todos os tipos de vegetação de caatinga hiperxerófila, tanto as áreas de caatinga aberta como de caatinga densa. Essa classe abrange a maior parte da área de estudo, 83,4 % da área total.

**Vegetação Ciliar** Este tipo de vegetação (composta por Carnaúbas) é identificado em estreitas faixas nas margens dos rios. No mapa de uso do solo (**figura 1.15**) esse tipo de vegetação só irá aparecer no rio Apodi, no trecho que corta o núcleo urbano de Mossoró, como esse tipo de classe se encontra no limite da área de estudo que acompanha o rio Apodi, abrangeu apenas 0,01% da área de estudo.

**Agricultura** Foram consideradas aqui as áreas anteriormente denominadas de vegetação de cultivo e solo cultivado. Abrange 10,1 % da área de estudo. Desse total, 7,48%, cobrindo 19538 ha de fruticultura irrigada, incluem principalmente plantações de melão, melancia, banana e solo exposto somando cerca de 67 km<sup>2</sup> (2,59%), principalmente na planície aluvial do rio Jaguaribe e secundariamente na planície do rio Apodi Mossoró. As manifestações de solo desnudo sobre a Chapada do Apodi se resumem a pequenas ocorrências esparsas, muitas delas representadas por afloramentos do calcário Jandaíra, expostos sob a forma de lajedos.

**Solo exposto** foram considerados apenas os solos sem a presença de vegetação. Essa classe abrange 3,6% da área de estudo.

**Água** As zonas ocupadas por água abrangem apenas 1,3% da área de estudo. Na porção nordeste da área, acima do núcleo urbano de Mossoró, as porções que aparecem incluídas dentro desse tema correspondem especificamente no referido local, a zonas utilizadas para a aquicultura (criação de organismos aquáticos como peixes, crustáceos, moluscos, rãs e algas). No vale do Jaguaribe, estão incluídas a lagoa da Salina a leste de Tabuleiro do Norte e os pequenos espelhos de água represados ao longo do rio Jaguaribe como, por exemplo, a barragem das Pedrinhas no município de Limoeiro do Norte.

#### **1.4.2 - Capacidade de Uso da Terra**

O uso adequado da terra é o primeiro passo em direção a uma agricultura correta. Para isso deve-se utilizar cada parcela de terra de acordo com a sua capacidade de sustentação e produtividade econômica, de forma que os recursos naturais sejam colocados a disposição do homem, para o seu melhor uso e benefício, procurando ao mesmo tempo preservar estes recursos para as gerações futuras.

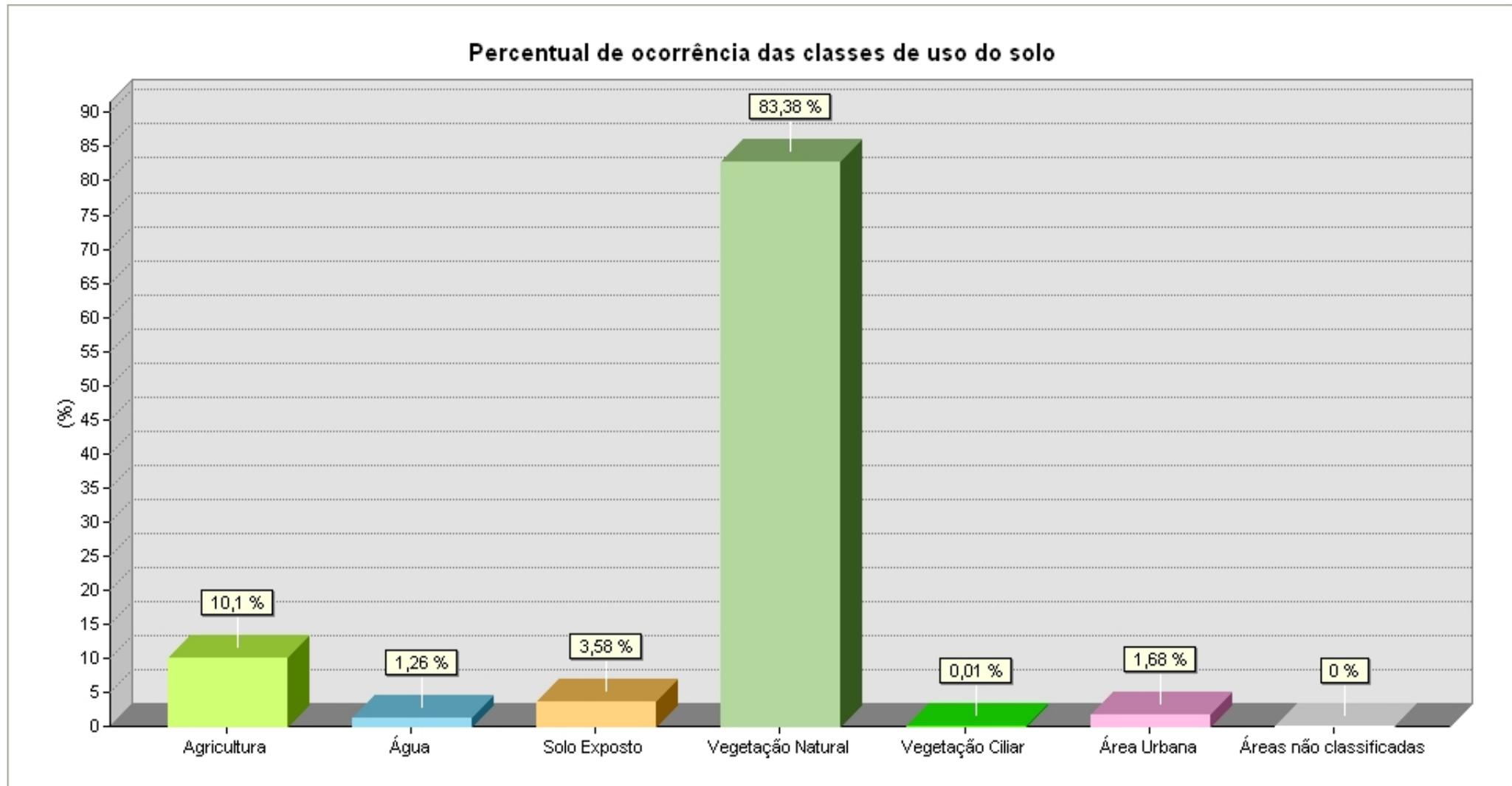
As terras são classificadas de acordo com determinadas características. Existem grupamentos de terras em função da sua arabilidade, em função da irrigação e subsequente drenagem, em função da sua aptidão agrícola para determinadas culturas, em função do risco de erosão, em função da necessidade de calagem, etc. Assim, as terras da área do estudo, são classificadas de acordo com a sua capacidade de uso e sua aptidão agrícola para determinadas culturas, como melão, melancia, mamão etc. Trata-se de culturas tropicais que se desenvolvem bem em regiões com temperaturas médias, em torno de 26 °C, em terras de boa arabilidade que são quase 100% mecanizáveis e nas quais o sistema de irrigação por gotejamento é de uso generalizado em toda a região e os solos apresentam uma boa drenagem.

São terras classificadas como pertencentes ao GRUPO A (entre A, B e C), e CLASSE I (entre I, II, III e IV). O GRUPO A, representa as terras com base nos tipos de intensidade de uso. São terras passíveis de utilização com culturas anuais, culturas perenes, pastagens e ou reflorestamento e vida silvestre.

A referência aos tipos de intensidade de uso do solo está relacionada com as culturas anuais, que impõem alta intensidade no uso dos solos, enquanto que vegetações naturais representam o mais baixo grau de intensidade de uso.

A CLASSE I representa as terras cultiváveis aparentemente sem problemas especiais de conservação, que além de possuírem topografia plana são perfeitamente mecanizáveis, com exceção das áreas onde existem afloramentos rochosos de calcário, que os agricultores destinam para as áreas de reserva legal, que na região é de 20% e as áreas onde existem sumidouros, que são consideradas áreas de preservação permanente – APP – segundo designação dada pelo (IBAMA 2008).

Os solos da região são de fertilidade média a baixa, pobres em matéria orgânica e nutrientes minerais, essenciais ao desenvolvimento das culturas exploradas. Além disso, apresentam risco de salinização.



**Figura 1.15** - Gráfico com o percentual de ocorrência das classes de uso do solo na área de estudo.

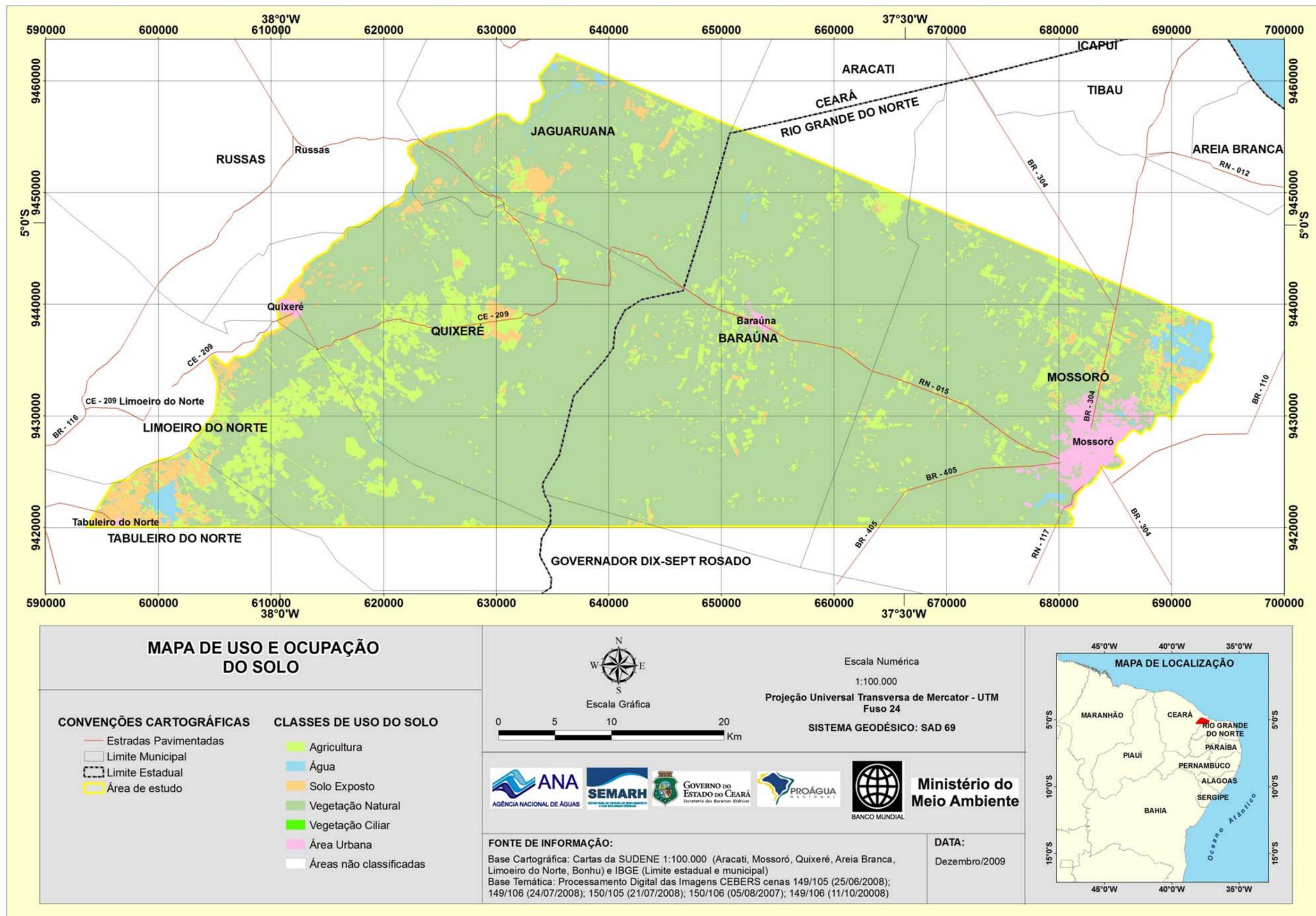


Figura 1.16 - Mapa de distribuição das classes de uso e ocupação do solo da área de estudo.

O atributo químico amplamente empregado na caracterização da salinidade de um solo é a *condutividade elétrica do extrato de saturação* (CEes). Esse parâmetro foi avaliado na Chapada do Apodi, no município de Quixeré-CE. (Meireles *et al.* 2003).

Ali foram comparados os teores de sais em solo de mata nativa sem irrigação e em solo cultivado sob irrigação e avaliados o risco de salinização do solo cultivado e o efeito das chuvas na lixiviação dos sais do solo.

A adição de sais no solo, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, foi monitorada de dezembro de 1999 a dezembro de 2000. Utilizou-se o sistema de irrigação localizado e água de classe C3S1 proveniente de poço profundo. Segundo Meireles *et al.* (2003) os resultados evidenciaram que:

- ✓ o solo cultivado apresentou risco de salinidade caracterizado por aumentos na CEes, variáveis de 49 a 2.600%;
- ✓ a ação da chuva não foi suficiente para lixiviar os sais adicionados ao solo cultivado pela irrigação;
- ✓ como resultado da fertirrigação os cátions  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  foram os elementos predominantes no solo de mata nativa, enquanto o ânion  $\text{Cl}^-$  foi o elemento que apareceu em maior concentração na solução do solo da área cultivada.

A importância relativa da ordem de influência dos íons nos valores da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes) foi pesquisada na Chapada do Apodi (Almeida *et al.* 2005). Foram retiradas 312 amostras de solo em duas áreas com bananeiras cultivadas sob irrigação (água subterrânea e superficial) e em áreas de vegetação nativa sendo uma em Quixeré e a outra no Distrito de Irrigação Jaguaribe Apodi (DIJA), em Limoeiro do Norte.

A pesquisa ocorreu no período de dezembro de 1999 a dezembro de 2000 e setembro a dezembro de 2001. Análises do extrato de saturação do solo forneceram valores da CEes e dos íons  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$ .

A análise de regressão dos parâmetros avaliados permitiu obter equações lineares múltiplas, relacionando a Condutividade Elétrica do Extrato de Saturação do Solo (CEes) com os íons estudados, concluindo-se que:

- ✓ Em Quixeré, o íon  $\text{Cl}^-$  exerce maior influência nos altos valores da CEes, seguido dos íons  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ , exceto para a camada de 30-60 cm, em que o íon  $\text{Na}^+$  aparece após o  $\text{Cl}^-$ .
- ✓ No Distrito de Irrigação Jaguaribe Apodi, o  $\text{Cl}^-$  foi predominante na camada de 0-30 cm, seguido por  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  e o  $\text{Na}^+$  na de 30-60 cm, seguido pelo  $\text{Cl}^-$ .

#### **1.4.3 - Adubação**

A exploração econômica das culturas irrigadas na região depende muito da análise de solo, que identifica os qualitativos e os quantitativos dos macros e micros nutrientes. A adubação torna-se uma prática agrícola obrigatória, sendo indispensável para o agricultor irrigante conseguir uma produção economicamente viável. Os adubos são aplicados ao solo e colocados ao alcance das plantas, através da adubação em fundação, da adubação em cobertura, da adubação pela fertirrigação e da adubação foliar.

Aplicam-se estes fertilizantes tanto no inverno como no verão. As quantidades utilizadas de adubos dependem das necessidades das culturas e da disponibilidade dos elementos existentes no solo. São determinadas pela análise de solo.

Os agricultores que fazem adubação, segundo orientação do laboratório de análise de solo, fazem uma agricultura de precisão, fornecendo só os nutrientes que a planta necessita, com suas quantidades certas, sem desperdícios, evitando prejuízos. Já os agricultores que adubam suas lavouras sem fazerem análise de solo, praticam uma agricultura empírica, com prejuízos e custo de produção muito maior, em face do desperdício. No caso do melão, o tipo de adubação (orgânica ou mineral) exerce influência na qualidade e conservação pós-colheita.

De fato, o efeito da adubação orgânica e mineral na qualidade e conservação pós-colheita de melão (*Cucumis melo* L.) foi avaliado por Araujo *et al.* (1999) em condições de casa de vegetação, no Departamento de Engenharia Rural-UNESP/Campus de Jaboticabal, através de um experimento constante dos seguintes tratamentos:

- ✓ T1-Cultivar AF-522 e adubação orgânica;
- ✓ T2-Cultivar Amarelo CAC e adubação orgânica;
- ✓ T3-Cultivar AF-522 e adubação mineral e
- ✓ T4-Cultivar Amarelo CAC e adubação mineral.

Utilizou-se o esquema fatorial 2x2 e o delineamento inteiramente casualizado, com 9 repetições. Os resultados mostraram que os melões cultivados sob adubação mineral foram superiores aos cultivados sob adubação orgânica, quanto à produção e ao rendimento de frutos.

Dados levantados em campo durante o cadastramento de poços na Chapada do Apodi revelam que os fertilizantes mais usados na região, são do tipo orgânico. Eles são fornecidos às plantas através do esterco de gado, do esterco de galinha, da calda orgânica (compostagem) produzida na propriedade e ainda de dois produtos da Integral Agroindustrial de Mossoró Ltda, produtora do Polifertil, que é um esterco composto de 70% de cama de galinha e 30% de esterco de gado e o Bio Turbo, composto por uma fração mineral, agregada a uma base orgânica (húmus), com no mínimo, 50% de matéria orgânica.

Os produtos químicos que os agricultores mais utilizam, são Uréia, Cloreto de potássio, Nitrato de cálcio, Sulfato de magnésio, Bórax e Molibdatos, além de formulações que contém N-P-K, nas seguintes proporções 10-10-10 e 06-24-12. Usam também o Nutrimis (complexo de micro-nutrientes) e o CAB II (cálcio e Boro), segundo informações fornecidas pela EMATER de Baraúna.

Em fundação, são usadas as formulações que contem N-P-K. Faz-se um sulco no terreno, onde será a fileira da cultura e deposita-se, no fundo do sulco, o adubo que contém os três macro-nutrientes principais. Em seguida, cobre-se com a terra que foi retirada do sulco e efetua-se o plantio da cultura.

Em cobertura, são fornecidos os adubos orgânicos e químicos, principalmente em culturas perenes, através da adubação foliar, para fornecer os nutrientes às

plantas na fase em que elas mais necessitam que é no início da floração, afim de que produzam grandes safras, de ótimas qualidades. O fornecimento do N da Uréia à planta é feito através da Fertirrigação, feita pela tubulação que os agricultores utilizam no fornecimento da água de irrigação por gotejamento – que é o sistema de irrigação 100% usado, na área.

Consiste na condução da água, sob pressão, por tubos até ser aplicada ao solo, através de emissores (gotejadores), sobre a zona da raiz da planta, em alta pressão e baixa intensidade. A uréia possui de 40 a 45% de N e se for aplicada de uma só vez, poderá queimar a planta. Por este motivo a sua aplicação é fracionada através da Fertirrigação.

Nas adubações em cobertura, das culturas perenes, como mangueira e cajueiro, faz-se um círculo na projeção da copa da planta, de 10 cm de profundidade e coloca-se o adubo com os macronutrientes principais (N-P-K) e cobre-se com terra.

Para os adubos considerados macronutrientes secundários (Ca-Mg-S), não se fazem adubações, porque eles são fornecidos às plantas pelos resíduos que existem nos adubos primários. São chamados elementos corretivos e não são adubos propriamente ditos.

As taxas de aplicações dos adubos na região são elevadíssimas, em face da pobreza dos solos em matéria orgânica e elementos minerais. Os agricultores só conseguem produzir suas safras economicamente (com rentabilidade), se utilizarem esta prática (adubação).

Fernandes *et al.* (2005), avaliaram as concentrações salinas das águas subterrâneas do aquífero Jandaíra através de análises de amostras coletadas de um conjunto de poços que fornecem água à Fazenda Frutacor, onde se produz banana para exportação, utilizando o fertilizante KCl duas vezes por semana através de gotejamento durante todo o ano.

A irrigação com o sistema de pivot é feita como rotina diária no período seco e em dias sem chuvas no período chuvoso. Os resultados após 13 meses de monitoramento permitiram concluir que:

- ✓ Houve aumento dos teores de  $K^+$ ,  $Cl^-$  e condutividade elétrica, depois de terem baixado durante a época de chuvas.
- ✓ Medidas de oxigênio-18 indicaram processo de evaporação.
- ✓ A comparação da condutividade elétrica em área irrigada e em área não irrigada sugere o efeito antrópico do uso do fertilizante sobre este parâmetro.

#### **1.4.4 - Agrotóxicos**

A produção agrícola na região do trabalho não será economicamente viável se não for estabelecido um método de combate as pragas e um controle sistemático das doenças que ocorrem nas culturas de expressão econômica.

No caso, o método adotado é o químico e são utilizados agrotóxicos como Inseticidas, Acaricidas, Fungicidas, Nematicidas e Herbicidas, no combate às pragas e ervas daninhas e no controle das doenças.

Entre as pragas que hoje prejudicam a exploração econômica das culturas mais utilizadas e que elevam bastante o custo de produção por unidade de área, devido aos altos preços dos agrotóxicos, destaca-se a ocorrência dos seguintes agentes Ácaros, pulgões, lagartas, mosca-branca, mosca-das-frutas, mosca-minadora ou bicho mineiro, tripés, besouros, vaquinhas, nematóides e ervas daninhas.

Para combater e resolver os problemas causados por estes insetos e estas ervas daninhas nas lavouras e as doenças que ocorrem, o agricultor lança mão de uma série de defensivos agrícolas (**tabela 1.12**), que vão comprometer o equilíbrio biológico da área com consequências incalculáveis no futuro.

Para controlar as doenças mais comuns, inclusive as provocadas por bactérias, que ocorrem nas lavouras exploradas na região, como Antracnose, Oídio, Míldio, Mancha bacteriana, Murcha de fusarium, Podridões, Varíola, Damping-off, Sigatoka Negra, Mal do Panamá, Murcha bacteriana e Virose o agricultor irrigante utiliza vários agrotóxicos, como fungicidas (**tabela 1.12**). No inverno, a maioria das doenças são fúngicas e ocorrem com maior frequência em face do aumento da umidade relativa do ar, que favorece o desenvolvimento do patógeno. O agricultor lança mão de fungicidas, a maioria à base de cobre (Cu), para controlar o agente etiológico destas doenças. Os seguintes produtos, com seus respectivos princípios ativos, são utilizados.

**Tabela 1.12** – Defensivos agrícolas e fungicidas utilizados na área de estudo.

<b>Categoria</b>	<b>Nome comercial</b>	<b>Princípio ativo</b>
A) INSETICIDAS	STRON	METAMIDOFÓS
	TAMARON	METEMIDOFÓS
	DECIS	DELTAMETRINE
	CARTAP	TIOCARBAMATO
	FOLIDOL	PARATION METÍLICO
B) ACARICIDAS	TEMIX	ALDICARB
	GUSATION	AZINFOS ETÍLICO
	ACRICID	BINOPACRIL
	ACAROL	BROMOPROPYLATE
	TRITHION	CARBOFENOTION
C) NEMATICIDAS	FURADAN	CARBOFURAN
	MARSHAL	CARBOSULFAN
	BASAMID	DAZOMET
	NEMACUR	FENAMIFOS
	TERRACUR	FENSULFOTION
D) HERBICIDAS	ROUNDAP	GLIFOSATE
	GRAMOXONE	PARAQUAT
	PRIMEXTRA	ATRAZINE
	LAÇO	ACETAMIDAS
	GESAPAX	TRIAZINAS
E) FUNGICIDAS	AFUGAN	PIRIMIDINA
	CERCONIL	CLOROTALONIL + TIOFANATO METIL
	DACOBRE	CLOROTALONIL + OXICLORETO DE COBRE
	BENLAT	BENZIMIDAZOLIO
	CAPTAN	FTALAMIDAS

Quando a doença é uma virose, não existe tratamento específico. Combate-se o vetor que é o pulgão, com um inseticida ou usa-se um herbicida para eliminar

a erva daninha, que serve de hospedeira do pulgão. Utiliza-se o procedimento mais econômico. Ocorre muito com o mamoeiro (Caricaceae) e Cucurbitaceae (melão, melancia). Recomenda-se fazer um monitoramento no pomar 2 (duas) vezes por semana, para identificar as plantas que estão atacadas pelo vírus e excluí-las imediatamente do pomar arrancando-as e enterrando-as. Deve-se manter o pomar limpo de ervas daninhas para evitar a formação de possíveis colônias de vetores. Mergulhar os instrumentos de corte, utilizados nos tratamentos culturais e colheita, em uma solução de hipoclorito de sódio a 5%. Antes de instalar o viveiro, erradicar das imediações hortaliças, como abóbora, pepino, melancia e solanáceas (Pimentão, Berinjela, etc), que são hospedeiras de vetores (pulgão). Erradicar as plantações velhas de mamoeiros, assim como plantas isoladas. Usar sementes obtidas de plantas sadias para a formação de mudas, preferencialmente oriundas de pomares onde não tenham ocorrido viroses. Utilizar mudas sadias na implantação do pomar. Estabelecer os viveiros distantes de plantios de mamoeiros, treinar pessoal para reconhecimento visual das plantas com sintomas de viroses no início da ocorrência. Para que a erradicação de plantas doentes dê bons resultados é necessário que os agricultores que plantam mamoeiro façam este tipo de controle.

Para as doenças cujo agente etiológico é uma bactéria, também não existem medidas de controle. Recomendam-se aplicações de fungicidas à base de cobre, que tem ações de bactericidas e medidas preventivas tais como plantios em terras novas; utilização de variedades resistentes; rotação de culturas (com plantas de famílias diferentes); plantios em períodos secos; desinfecção de implementos agrícolas (solução de sulfato de cobre 3 a 5%). Tratamento das sementes com antibiótico (sulfato de estreptomicina); tratamento semanal das mudas em canteiro com fungicidas cúpricos, mais estreptomicina (20g por 100l de água); plantios em locais altos e espaçamentos amplos, para facilitar a ventilação, entre as plantas.

As aplicações de defensivos agrícolas nas principais culturas da região, segundo as informações obtidas em campo, se fazem sistematicamente nas principais culturas, conforme **tabela 1.13**.

**Tabela 1.13** – Frequência de aplicação de defensivos agrícolas no combate às pragas e no controle das doenças na região da Chapada do Apodi.

Cultura	Ciclo (meses)	Aplicações	Frequência
Melão	2 a 2,5	6	Semanal
Melancia	2 a 3	6	Semanal
Mamão	8 a 10	16	Quinzenal

#### 1.4.5 - Conclusões sobre o Uso da Terra

A expansão da fronteira agrícola está intimamente relacionada com o crescimento da Fruticultura irrigada, na região. O crescimento deste setor está acontecendo aceleradamente, em consequência da avidez dos agricultores irrigantes por terras novas, com o objetivo de aumentarem suas áreas de plantio, principalmente com a cultura do melão, que é uma cultura anual, muito exigente de solo e, para atender a crescente demanda dessa hortaliça pelo

mercado externo dos países da União Européia e Estados Unidos, que são seus maiores importadores.

O crescimento da área plantada está também relacionado com a demanda crescente do mercado interno. Hoje é notório o envio de melão, mamão e melancia, para as principais capitais dos Estados da União. O crescimento da área plantada, com frutíferas, está inflacionando o mercado de terras da região, porque os grandes agricultores estão comprando as terras, por preços altos ou mesmo fazendo contratos de arrendamento e parceria, com os médios e pequenos agricultores, que estão virando mão de obra, para os grandes agricultores.

Constatamos um processo indireto de expulsão do homem do campo, forçado a vender suas terras e a monopolização da fruticultura irrigada, com a consequente concentração da terra.

Outra preocupação é com a taxa de aplicação de agrotóxicos e fertilizantes, com os prejuízos, que podem ocasionar ao meio ambiente. Isto porque não existe uma consciência ambiental na maioria dos produtores, em praticar uma agricultura sustentável. Abusam do uso de agrotóxicos e fertilizantes, não utilizam um método integrado no combate às pragas e no controle das principais doenças. Só usam o método químico. Usam agrotóxicos e fertilizantes, empiricamente. Poucos são os agricultores que aplicam estes insumos com conhecimento de causa, preservando o meio-ambiente. A grande maioria dos agricultores queima as embalagens dos agrotóxicos e fertilizantes e jogam na superfície do solo, contaminando o solo, a água e o ar.

## 1.5 – Socioeconomia e demandas

### 1.5.1 - População

Na **tabela 1.14** é apresentada a distribuição da população por município e por zona de moradia, assim como a densidade demográfica e a taxa de urbanização de cada um. Somente a taxa de urbanização é do ano de 2004, pois dados atuais sobre todos os municípios ainda não foram publicados.

**Tabela 1.14** – População residente em 2007 nos municípios envolvidos.

Municípios	População Total	População Urbana	População Rural	Densidade demográfica (hab./km <sup>2</sup> )	Taxa de Urbanização 2004 (%)
Aracati	66.049	42.867	23.182	53,74	64,03
Jaguaruana	30.965	17.180	13.785	35,72	55,76
Limoeiro do Norte	53.289	30.213	23.076	70,86	56,86
Quixeré	18.652	10.857	7.795	30,23	58,46
Areia Branca	24.398	19.361	5.037	68,15	79,28
Baraúna	23.098	14.965	8.133	27,96	63,23
Mossoró	234.390	218.081	16.309	111,09	93,10

Fonte IBGE (2008).

Os municípios envolvidos nesse projeto constituem áreas da Microrregião Baixo Jaguaribe no Estado do Ceará e da Microrregião Mossoró no Rio Grande

do Norte. Unindo as duas microrregiões totaliza uma população de 450.000 habitantes de acordo com os dados do IBGE no Perfil dos Municípios Brasileiros, publicado em 2008, com dados referentes a 2007.

Assim como as demais principais cidades dos Estados envolvidos, a população vive predominantemente na zona urbana, e muitas vezes mantêm agronegócios que os aproximam da zona rural.

O município com maior destaque populacional é Mossoró e é o que apresenta a maior taxa de urbanização, em torno de 93%, embora todos os outros municípios estejam acima dos 50%, e também constitui uma zona de polarização de atividades agropecuárias e extrativas.

### 1.5.2 - Serviços de Saúde

Os serviços de saúde dos municípios são praticamente gerenciados pelo setor público, predominando a gestão municipal e o Sistema Único de Saúde – SUS. O maior número de estabelecimentos de saúde localiza-se na zona urbana. Na zona rural, são encontrados pequenos postos de saúde, para atendimento de consultas marcadas.

Nas **tabelas 1.15** e **1.16** são apresentados a distribuição dos estabelecimentos de saúde e os leitos hospitalares por especialidades médicas (SUS 2009a). Os estabelecimentos de saúde são classificados por estabelecimentos públicos, que inclui a gestão municipal, estadual e do SUS, e os estabelecimentos privados, que mantêm poucos leitos pelo SUS, em casos especiais.

**Tabela 1.15** – Estabelecimentos de saúde por município – 2007.

Municípios	Estabelecimentos Públicos	Estabelecimentos Privados	Total
Aracati	30	8	38
Jaguaruana	14	1	15
Limoeiro do Norte	30	8	38
Quixeré	10	1	11
Areia Branca	7	3	10
Baraúna	8	-	8
Mossoró	45	55	100

Fonte SUS (2009a).

A **tabela 1.16** apresenta o número de leitos hospitalares de municípios do Ceará e a **tabela 1.7** apresenta o número de leitos hospitalares de municípios do Rio Grande do Norte. Em cada um dos municípios considerados, apresenta-se a distribuição dos leitos entre os sistemas público e privado, indicando também o número de leitos geridos pelo SUS, onde o destaque maior é o município de Mossoró, que polariza o maior número de leitos, tanto privado como público.

**Tabela 1.16** - Leitos hospitalares nos municípios cearenses de Aracati, Jaguaruana, Limoeiro do Norte e Quixeré em novembro de 2007.

ARACATI						
Atendimento	Público		Privado		Total	
Especialidade	Existente	SUS	Existente	SUS	Existente	SUS
Cirúrgicos	4	4	15	15	19	19
Clínicos	20	20	28	20	48	40
Complementares	3	3	-	-	3	3
Obstétrico	15	15	16	12	31	27
Pediátrico	11	11	11	11	22	22
Outras Especialidades	1	1	-	-	1	1
Hospital/Dia	-	-	-	-	-	-
Total	54	54	70	58	124	112
JAGUARUANA						
Atendimento	Público		Privado		Total	
Especialidade	Existente	SUS	Existente	SUS	Existente	SUS
Cirúrgicos	4	4	-	-	4	4
Clínicos	14	14	-	-	14	14
Complementares	-	-	-	-	-	-
Obstétrico	4	4	-	-	4	4
Pediátrico	12	12	-	-	12	12
Outras Especialidades	-	-	-	-	-	-
Hospital/Dia	-	-	-	-	-	-
Total	34	34	-	-	34	34
LIMOEIRO DO NORTE						
Atendimento	Público		Privado		Total	
Especialidade	Existente	SUS	Existente	SUS	Existente	SUS
Cirúrgicos	16	16	44	44	60	60
Clínicos	10	10	37	23	47	33
Complementares	-	-	-	-	-	-
Obstétrico	7	7	28	20	35	27
Pediátrico	8	8	41	31	49	39
Outras Especialidades	1	1	-	-	1	1
Hospital/Dia	-	-	-	-	-	-
Total	42	42	150	118	192	160
QUIXERÉ						
Atendimento	Público		Privado		Total	
Especialidade	Existente	SUS	Existente	SUS	Existente	SUS
Cirúrgicos	6	6	-	-	6	6
Clínicos	10	10	-	-	10	10
Complementares	-	-	-	-	-	-
Obstétrico	6	6	-	-	6	6
Pediátrico	6	6	-	-	6	6
Outras Especialidades	-	-	-	-	-	-
Hospital/Dia	-	-	-	-	-	-
Total	28	28	-	-	28	28

Fonte Cadernos de Saúde do Ministério da Saúde – 2007 (SUS 2009b)

**Tabela 1.17** - Leitos hospitalares nos municípios de Areia Branca, Baraúna e Mossoró, Rio Grande do Norte, em novembro de 2007.

AREIA BRANCA						
Atendimento	Público		Privado		Total	
Especialidade	Existente	SUS	Existente	SUS	Existente	SUS
Cirúrgicos	-	-	2	2	2	2
Clínicos	18	18	6	6	24	24
Complementares	-	-	-	-	-	-
Obstétrico	4	4	5	5	9	9
Pediátrico	4	4	4	4	8	8
Outras Especialidades	-	-	-	-	-	-
Hospital/Dia	-	-	-	-	-	-
Total	26	26	17	18	43	44

BARAÚNA						
Atendimento	Público		Privado		Total	
Especialidade	Existente	SUS	Existente	SUS	Existente	SUS
Cirúrgicos	-	-	-	-	-	-
Clínicos	17	18	-	-	17	18
Complementares	-	-	-	-	-	-
Obstétrico	2	2	-	-	2	2
Pediátrico	2	2	-	-	2	2
Outras Especialidades	-	-	-	-	-	-
Hospital/Dia	-	-	-	-	-	-
Total	21	22	-	-	21	22

MOSSORÓ						
Atendimento	Público		Privado		Total	
Especialidade	Existente	SUS	Existente	SUS	Existente	SUS
Cirúrgicos	41	41	224	154	265	195
Clínicos	56	56	198	110	254	166
Complementares	9	9	10	4	19	13
Obstétrico	11	11	60	60	71	71
Pediátrico	33	33	41	22	74	55
Outras Especialidades	276	276	2	-	278	256
Hospital/Dia	-	-	-	-	-	-
Total	426	427	535	350	961	756

Fonte Cadernos de Saúde do Ministério da Saúde – 2007 (SUS 2009b)

### 1.5.3 - Indicadores Educacionais

O sistema educacional atuante nos municípios envolvidos no projeto é predominantemente público, sendo a administração municipal detentora do maior número de estabelecimentos de ensino. A zona urbana também apresenta o maior número de estabelecimentos, principalmente os da administração particular. Na região só existe um estabelecimento de ensino federal superior que a Universidade Federal Rural do Semi-árido.

A **tabela 1.18** apresenta os estabelecimentos de ensino por dependência administrativa e se localizam na zona rural ou urbana. Durante a pesquisa constatou-se que há o predomínio de estabelecimentos nos municípios de Mossoró e Jaguaruana que apresentam mais de 100 estabelecimentos, predominando a administração municipal. A rede estadual de ensino tem uma expressão maior no município de Mossoró, concentrando 70 estabelecimentos. Essa concentração dá-se pela polarização que existe em Mossoró.

**Tabela 1.18** - Estabelecimentos de ensino por dependência administrativa e localização, segundo os municípios – 2006.

MUNICÍPIOS	ESTABELECIMENTOS DE ENSINO									
	Total		Dependência administrativa e localização							
			Federal		Estadual		Municipal		Particular	
Total	Rural	Total	Rural	Total	Rural	Total	Rural	Total	Rural	
Areia Branca	45	21	-	-	9	-	32	21	4	-
Baraúna	42	27	-	-	3	1	32	25	7	1
Mossoró	277	48	1	-	70	2	120	45	86	1
Aracati	79	51	-	-	5	-	63	51	11	-
Jaguaruana	122	49	-	-	4	-	101	49	17	-
Limoeiro do Norte	84	43	-	-	4	3	63	28	17	12
Quixeré	44	25	-	-	2	-	38	25	4	-

Fonte - Secretarias da Educação e da Cultura dos Estados do Ceará e do Rio Grande do Norte – SEDUC (2009) e SEEC (2006).

A **tabela 1.19** mostra a distribuição da taxa de escolarização por grupos de idade em cada município envolvido no projeto. O grupo de idade que apresenta a maior taxa de escolarização é a dos sete aos catorze anos e o grupo dos vinte cinco anos ou mais é o que detém a menor porcentagem, que não ultrapassa os 10%. De acordo com a pesquisa bibliográfica realizada na área, o número de analfabetos adultos é em torno de 20%, o que chama atenção à falta do acesso à educação, provocada, muitas vezes, pela opção de trabalhar.

**Tabela 1.19** - Taxa de escolarização por grupos de idade em cada município – 2006.

Municípios	Taxa de escolarização (%)					
	Total	Por grupos de idade				
		0 a 6 anos	7 a 14 anos	15 a 17 anos	18 a 24 anos	25 anos ou mais
Aracati	36,8	46,1	93,9	77,1	34,5	7,1
Jaguaruana	34,9	43,9	93,9	70,2	28,9	4,8
Limoeiro do Norte	33,2	47,1	94,6	81,4	29,9	3,9
Quixeré	34,9	42,1	92,7	78,4	30,3	4,9
Areia Branca	32,2	42,7	95,3	77,3	37,2	3,5
Baraúna	31,5	34,5	87,6	53,7	25,9	4,6
Mossoró	36,3	52,5	96,5	82,2	38,2	5,1

Fonte - Secretarias da Educação e da Cultura dos Estados do Ceará e do Rio Grande do Norte – SEDUC e SEEC.

#### 1.5.4 - Atividades Econômicas

A economia da região estudada está em pleno desenvolvimento. Suas principais atividades se concentram nas áreas de **Agricultura** - com o cultivo de algodão, arroz, banana, castanha-de-caju, cana-de-açúcar, coco-da-baía, feijão, mandioca, milho, batata-doce, sisal, fumo, abacaxi e mamona; **Pecuária** - bovina, suínos, avicultura; **Pesca**; **Extração vegetal** - Carnaúba e **Mineração** - sal marinho, calcário, diatomito, estanho, caulim, gás natural, petróleo.

O cultivo do algodão teve importante participação na economia do lado do Rio Grande do Norte desde a colonização do Estado, e a pecuária ainda é uma das

atividades econômicas mais fortes desse Estado. Do lado cearense o destaque maior é a produção de grãos, destacando-se o milho, feijão e arroz.

No Estado do Ceará os municípios estudados têm a sua maior fonte de renda no setor terciário e no setor primário, com as atividades agropecuárias e extrativistas.

Segundo os dados do IBGE (2008) e da Secretaria de Meio Ambiente do Ceará (SEMACE, 2004), no município de Aracati, o turismo alimenta a economia o ano inteiro. Podem-se destacar em Aracati as praias de Majorlândia, Lagoa do Mato, Fortim, Retirinho, Retiro Grande e Canoa Quebrada. O município tem como fonte de renda do setor primário o extrativismo vegetal representado praticamente pela carnaúba utilizada na confecção de produtos artesanais e a castanha de caju comercializada principalmente para indústrias de beneficiamento como produto de exportação. Destaca-se a avicultura como a principal atividade no setor de pecuária, englobando, comercialização de ovos *in natura* e aves em vários estágios do desenvolvimento do pinto a ave adulta. A produção se destina ao mercado local e exportação. A criação de ovinos esta em crescimento superando a de suínos, uma tendência que vem se firmando com a apreciação de pratos típicos e variados feitos com a carne de carneiro. Ressalta-se que vem se registrando em Aracati uma queda na produção agropecuária, possivelmente decorrente da redução da área colhida e do rebanho para a grande parte das culturas agrícolas e das atividades pecuárias.

De acordo com os dados do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE, 2008), o município de Jaguaruana teve como grande fonte de renda, a produção de redes artesanais, voltada para o mercado nacional e internacional, além da carcinicultura que vem crescendo nas últimas décadas. Também se destaca as atividades do setor primário, como o cultivo de frutas – banana, melão e melancia - para o mercado exterior. No extrativismo vegetal o destaque do município é a exploração da carnaúba, principalmente para a produção da cera. No extrativismo mineral tem-se a extração do calcário com as Mineradoras GC e Miliane (IPECE, 2005) No setor primário da pecuária, o rebanho de maior representatividade são as aves (30.130 cabeças – Censo Agropecuário do IBGE (2006), seguidas pelos ovinos (27.551 cabeças). O setor secundário tem pouca expressividade, sendo o setor de beneficiamento para a exportação, o que mais se destaca.

No município de Limoeiro do Norte, as atividades agropecuárias estão em maior número para compor a renda municipal, destacando-se a produção de leite de vaca e criação de gado bovino e aves, e a produção de frutas para o mercado nacional e para a exportação, como a banana, goiaba, coco-da-baía, laranja, limão, mamão, manga, além da produção da castanha de caju. No setor extrativista, o destaque é a extração de calcário, que apresenta a segunda maior concentração no Estado, extraído e comercializado pelas empresas do Grupo Carbomil, Calcário do Brasil e Micronita.

Os pólos salineiros na região litorânea do Estado do Rio Grande do Norte movimentam o porto de Areia Branca, sendo responsável por 90% da produção nacional. Já a extração de petróleo movimentam o porto de Guamaré, sendo um dos maiores centros extratores de petróleo do país, e o maior produtor de petróleo "em terra" no Brasil. Estas duas atividades respondem pelo maior crescimento da Economia do Estado.

A região vem desenvolvendo-se rapidamente nos últimos anos. Sua indústria, cujos principais produtos ainda são os têxteis, os artesanatos e cerâmicas, vêm ganhando força graças às exportações.

Produtos como o sal, camarão, frutas - mamão, melão, melancia, abacaxi, manga, etc - peixes e doces tornaram o Estado o campeão de exportações do Nordeste. A falta de estrutura ainda é um problema na economia, mas pólos industriais estão sendo montados, e melhorias e ampliações as estruturas de portos e aeroportos também estão contribuindo para o incremento das atividades econômicas.

É importante observar que o surgimento de pequenos estabelecimentos industriais tem se constituído num grande potencial para a economia da região, fruto da capacidade germinativa da indústria mineral (petróleo e sal) e de alimentos (fruticultura irrigada, castanha de caju) em atrais empresas de apoio. A Região de Mossoró vem alcançando avanços nos indicadores de crescimento, impulsionados pela Política de Captação de Investimentos dos Governos Estadual e Municipal, onde se destaca a indústria de revestimentos cerâmicos e o distrito industrial de Mossoró.

As atividades da fruticultura têm fomentado não só a dinamização das ocupações em atividades agrícolas, como também a proliferação de agroindústrias, inclusive processadoras de frutas, em áreas rurais dos municípios que compõem o pólo, assim como têm demandado serviços especializados para atender exigências específicas por parte das empresas produtoras de frutas irrigadas. Estes investimentos, que se constituem na principal fonte de dinamismo do setor agropecuário local, são capazes de suprir parte significativa da lacuna deixada pela erradicação da cultura do algodão, nos dois Estados.

Diferentemente da atividade da fruticultura e mais ainda da salineira (bastantes expressivas nesta área), a atividade petrolífera se apresenta como uma atividade bem mais exigente no que diz respeito à qualificação da mão-de-obra empregada. Isto porque, essa atividade se desenvolve dentro de padrões de tecnológicos que tem o mercado e a produção mundial como referência. É importante lembrar que a atividade petrolífera embora tenha a Petrobrás como a grande referência enquanto empresa de exploração de petróleo e gás, diversas outras empresas estão atreladas a essa produção enquanto prestadoras de serviços, sendo as mesmas importantes fonte de empregos no setor.

#### **1.5.5 - Infra-estrutura (atividades sanitárias)**

Os municípios envolvidos nesse projeto possuem bom sistema de infra-estrutura, mas as prefeituras estão trabalhando para implantar as redes de esgoto e o calçamento no sistema viário nos centros urbanos. Na zona rural a infra-estrutura é mais precária, e o morador só tem alguns serviços dirigindo-se até a zona urbana.

Todos os municípios possuem em sua zona urbana, o sistema de telefonia fixa, agências bancárias, livrarias, farmácias, escolas de ensino fundamental e médio, Postos do Correios e Telégrafos e estradas que as interligam através de rodovias federais e estaduais.

Em Areia Branca localiza-se o Terminal Salineiro para embarque da produção das salinas de Macau, Grosso, Mossoró e da própria Areia Branca.

A energia elétrica dos municípios é fornecida pela CHESF - Companhia Hidrelétrica do São Francisco, gerenciada pela Companhia de Serviços Energéticos do Rio Grande do Norte – COSERN e pela Companhia Energética do Ceará – COELCE. Todos os municípios dispõem desses serviços, principalmente na zona rural.

O abastecimento d'água das sedes dos municípios localizados na área de estudo é feito pelas Companhias Estaduais de Saneamento, respectivamente, CAERN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte e CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Ceará. Apenas no caso de Limoeiro do Norte, o abastecimento de água é administrado por um Serviço Autônomo de Águas e Esgotos (SAAE) ligado à Prefeitura Municipal. As atuais captações são segundo informações levantadas na CAGECE e CAERN são as seguintes:

**Aracati:** trata-se de uma captação de água subterrânea localizada ao norte da zona urbana, a 10 km de distância, na localidade de Cumbe, nas proximidades da foz do rio Jaguaribe. A captação é constituída de 10 poços tubulares rasos construídos no aquífero freático formado nas dunas móveis litorâneas. A vazão produzida é de 240 m<sup>3</sup>/h. Essa descarga é insuficiente para atender a atual demanda da cidade que já é da ordem de 400 m<sup>3</sup>/h. Segundo informações da CAGECE o atual sistema de poços das dunas deve continuar em operação para atender apenas ao abastecimento de água da praia de Canoa Quebrada. Para a cidade de Aracati, um novo sistema de captação de água superficial a partir do canal Itaíçaba, deverá ser construído.

**Jaguaruana** utiliza um poço amazonas associado a um dreno radial, com produção de 60 m<sup>3</sup>/h de águas induzidas do rio Jaguaribe, através do freático. Existe ainda uma captação flutuante que bombeia diretamente do rio Jaguaribe uma vazão de 100 m<sup>3</sup>/h.

**Quixeré** utiliza água subterrânea do aquífero aluvial da Ilha de Limoeiro, sendo a captação realizada através de 4 (quatro) poços tubulares com produção total de 80 m<sup>3</sup>/h. O aquífero recebe recarga induzida dos rios Jaguaribe e Quixeré, que formam a Ilha de Limoeiro e se acham perenizados pelas águas do Açude Castanhão.

**Limoeiro do Norte:** o sistema de abastecimento desta cidade é o único da área não administrado pela CAGECE. A empresa concessionária é o SAAE – Serviço Autônomo de Águas e Esgotos e a captação de água é feita por bombeamento direto de 200 m<sup>3</sup>/h do rio a partir de um flutuante.

**Tabuleiro do Norte:** o abastecimento urbano de água se realiza por captação direta do rio Jaguaribe – perenizado pelo Açude Castanhão – a partir de um flutuante de onde é bombeada uma descarga de 200 m<sup>3</sup>/h.

**Baraúna:** a cidade é abastecida por poços profundos que captam águas subterrâneas do aquífero Açú. Existem atualmente 4 (quatro) poços, dos quais apenas 2 (dois) se encontram em operação, com vazão total informada de 100 m<sup>3</sup>/h.

**Mossoró:** o abastecimento de água de Mossoró conta atualmente com dois mananciais, i) o primeiro de águas subterrâneas do aquífero Açú, explotado

através de poços tubulares profundos; ii) o segundo de águas superficiais aduzidas do Açude Armando Ribeiro Gonçalves (a 80 km de distância) através da adutora Jerônimo Rosado. Presentemente este sistema, administrado pela CAERN está operando de forma bastante precária com persistente falta de água nos bairros situados em zonas de cotas topográficas mais elevadas dentro da zona urbana.

Em geral o abastecimento urbano de água ainda é deficitário, como pode ser visto na **tabela 1.20** na qual são mostrados os tipos de abastecimento por domicílio em cada município. De acordo com os dados do IPECE (2006) a rede de abastecimento de água e a de esgotamento sanitário não contempla toda a zona urbana, e nem a zona rural dos municípios analisados, como pode ser visualizado na **tabela 1.21**.

Alguns projetos para a implantação do sistema de esgotamento sanitário urbano já começaram, com o financiamento do Banco Mundial, mas para a zona rural ainda não foi divulgado.

**Tabela 1.20** – Tipo de Abastecimento de Água Urbano por domicílio em cada município – 2007.

Município	Rede geral canalizada em pelo menos um cômodo	Rede geral canalizada só na propriedade terreno	Poço ou nascente canalizada em pelo menos um cômodo	Poço ou nascente – canalizada só na propriedade/ terreno	Poço ou nascente - não canalizada	Outra forma - canalizada em pelo menos um cômodo	Outra forma - canalização só na propriedade/ terreno	Outra forma - não canalizada	Total
Aracati	25.600	9.877	2.734	1.270	6.588	545	188	13.706	60.508
Jaguaruana	9.864	6.010	800	895	2.993	187	703	8.195	29.647
Limoeiro do Norte	24.871	2.755	7.639	911	5.042	1.474	622	5.981	49.295
Quixeré	7.910	1.952	1.811	558	2.464	276	125	1.666	16.762
Areia Branca	14.225	3.960	528	78	388	20	155	3.049	22.403
Baraúna	2.961	9.403	848	296	1.721	69	70	3.425	18.793
Mossoró	155.100	34.693	2.442	365	863	846	610	18.341	213.260

**Tabela 1.21** - Tipos de Instalações sanitárias por domicílio em cada município – 2007.

Município	Rede geral de esgoto ou pluvial	Fossa séptica - não discriminada	Fossa rudimentar - não discriminada	Vala - não discriminada	Rio, lago ou mar	Outro escoadouro - não discriminado	Não tem instalação sanitária	Total
Aracati	346	532	45.025	290	21	718	13.576	60.508
Jaguaruana	474	490	17.914	51	21	126	10.571	29.647
Limoeiro do Norte	3.375	36.344	2.777	131	49	73	6.546	49.295
Quixeré	222	181	13.237	181	25	31	2.885	16.762
Areia Branca	140	3.924	15.294	452	272	256	2.065	22.403
Baraúna	12	251	14.655	55	30	3.790	18.793	
Mossoró	43.862	64.929	88.485	1.866	315	1.785	12.018	213.260

### 1.5.6 - Atividades Agropecuárias

As atividades agropecuárias dependem dos progressos na construção de obras infraestruturais como os açudes, responsáveis pelo armazenamento de águas durante as secas.

Devido às suas características climáticas, a região estudada tem potencial para colher frutos tropicais da melhor qualidade e em grande variedade, como o mamão, o melão, a melancia, o caju, a banana e a acerola. A produção de castanha de caju também é bastante relevante, uma vez que o clima da região é perfeito para sua cultura.

Segundo o Censo Agropecuário do IBGE (2007), os municípios do Ceará e do Rio Grande do Norte, quanto à pecuária, apresentam um desenvolvimento das criações de gado bovino, suíno, caprino e ovino. A avicultura encontra-se também em amplo desenvolvimento.

Na **tabela 1.22** segue a caracterização dos estabelecimentos rurais encontrados na região estudada para cada município, destacando-se os estabelecimentos rurais com lavouras temporárias com o plantio de frutas e grãos. Os estabelecimentos rurais também apresentam produção com a pecuária, principalmente com o gado bovino, ovino e a criação de aves.

No município de Aracati o que predomina são as lavouras temporárias com o cultivo de tomate, feijão, algodão e frutas como a melancia e o melão. Na criação de animais, destacam-se as aves, seguidas dos ovinos. Produção semelhante se observa em Jaguaruana, alterando apenas o quantitativo na criação de ovinos (mais de 27.000 cabeças) e a de aves (em torno de 30.000 cabeças).

Em Limoeiro do Norte destaca-se a criação de bovinos, principalmente para a produção de leite de vaca, com 8.000 litros/dia, seguindo da criação de aves, com 23.000 cabeças. Na produção das lavouras, além do cultivo de produtos de subsistência, como o milho, feijão, arroz e mandioca, tem-se a produção de frutas, como o abacaxi, melão e a melancia.

Em Quixeré não há destaque para um tipo específico de criação de animais, estando presentes aves, caprinos, ovinos e bovinos em todos os estabelecimentos rurais.

Areia Branca e Baraúna apresentam um maior número na criação de aves e ovinos, em torno de 5.000 cabeças para cada município. Quanto à produção agrícola os produtos de maior destaque são as frutas melancia e melão e a produção de castanha de caju.

No município de Mossoró a produção agrícola é a mais expressiva dos municípios norte-rio-grandense estudados. A criação de bovinos e caprinos chega a 16.000 cabeças cada espécie, e as aves estão em torno de 315.000 cabeças distribuídas nos 738 estabelecimentos. Além do cultivo de feijão, algodão, milho e mandioca, o grande destaque no cultivo agrícola são as frutas, principalmente a banana, coco-da-baía, mamão, manga, melão e melancia, além da produção da castanha de caju.

**Tabela 1.22** - Tipos de Estabelecimentos Rurais e a Produção da Pecuária por município.

<b>ARACATI</b>				
<b>Estabelecimentos Rurais</b>		<b>Produção da Pecuária</b>		
Número de Estabel. agropecuários	2.014	Número de cabeças de bovinos	3.273	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras permanentes	733	Número de cabeças de caprinos	2.205	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras temporárias	1.234	Número de cabeças de ovinos	8.199	Cabeças
Número de Estabel. com pastagens naturais	107	Número de cabeças de suínos	2.338	Cabeças
Número de Estabel. com matas e florestas	435	Número de cabeças de aves	12.611	Cabeças
Número de Estabel. com bovinos	186	Produção de leite de vaca	224	Mil litros
Número de Estabel. com caprinos	90	Produção de leite de cabra	2	Mil litros
Número de Estabel. com ovinos	232	Produção de ovos de galinha	18	Mil dúzias
Número de Estabel. com suínos	157			
Número de Estabel. com aves	349			
Número de Estabel. com produção de leite de vaca	102			
Número de Estabel. com produção de leite de cabra	8			
Número de Estabel. com produção de ovos de galinha	173			
<b>JAGUARUANA</b>				
<b>Estabelecimentos Rurais</b>		<b>Produção da Pecuária</b>		
Número de Estabel. agropecuários	1.885	Número de cabeças de bovinos	13.585	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras permanentes	374	Número de cabeças de caprinos	8.266	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras temporárias	1.214	Número de cabeças de ovinos	17.075	Cabeças
Número de Estabel. com pastagens naturais	866	Número de cabeças de suínos	2.699	Cabeças
Número de Estabel. com matas e florestas	224	Número de cabeças de aves	13.234	Cabeças
Número de Estabel. com bovinos	784	Produção de leite de vaca	1.775	Mil litros
Número de Estabel. com caprinos	253	Produção de leite de cabra	8	Mil litros
Número de Estabel. com ovinos	441	Produção de ovos de galinha	47	Mil dúzias
Número de Estabel. com suínos	278			
Número de Estabel. com aves	437			
Número de Estabel. com produção de leite de vaca	357			
Número de Estabel. com produção de leite de cabra	7			
Número de Estabel. com produção de ovos de galinha	319			

Fonte IBGE (2007)

Tabela 1.22 (continuação)

<b>LIMOEIRO DO NORTE</b>				
<b>Estabelecimentos Rurais</b>		<b>Produção da Pecuária</b>		
Número de Estabel. agropecuários	2098	Número de cabeças de bovinos	18.473	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras permanentes	825	Número de cabeças de caprinos	3.313	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras temporárias	1398	Número de cabeças de ovinos	9.483	Cabeças
Número de Estabel. com pastagens naturais	808	Número de cabeças de suínos	4.767	Cabeças
Número de Estabel. com matas e florestas	269	Número de cabeças de aves	23.256	Cabeças
Número de Estabel. com bovinos	1.061	Produção de leite de vaca	8.340	Mil litros
Número de Estabel. com caprinos	145	Produção de leite de cabra	2	Mil litros
Número de Estabel. com ovinos	398	Produção de ovos de galinha	112	Mil dúzias
Número de Estabel. com suínos	621			
Número de Estabel. com aves	805			
Número de Estabel. com produção de leite de vaca	709			
Número de Estabel. com produção de leite de cabra	8			
Número de Estabel. com produção de ovos de galinha	546			
<b>QUIXERÉ</b>				
<b>Estabelecimentos Rurais</b>		<b>Produção da Pecuária</b>		
Número de Estabel. agropecuários	997	Número de cabeças de bovinos	3.896	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras permanentes	207	Número de cabeças de caprinos	4.319	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras temporárias	754	Número de cabeças de ovinos	4.789	Cabeças
Número de Estabel. com pastagens naturais	167	Número de cabeças de suínos	1.480	Cabeças
Número de Estabel. com matas e florestas	104	Número de cabeças de aves	5.527	Cabeças
Número de Estabel. com bovinos	324	Produção de leite de vaca	665	Mil litros
Número de Estabel. com caprinos	119	Produção de ovos de galinha	11	Mil dúzias
Número de Estabel. com ovinos	158			
Número de Estabel. com suínos	162			
Número de Estabel. com aves	251			
Número de Estabel. com produção de leite de vaca	179			
Número de Estabel. com produção de ovos de galinha	153			

Fonte IBGE (2007)

Tabela 1.22 (continuação)

AREIA BRANCA				
Estabelecimentos Rurais		Produção da Pecuária		
Número de Estabel. agropecuários	354	Número de cabeças de bovinos	1.412	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras permanentes	166	Número de cabeças de caprinos	705	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras temporárias	206	Número de cabeças de ovinos	3.218	Cabeças
Número de Estabel. com pastagens naturais	129	Número de cabeças de suínos	149	Cabeças
Número de Estabel. com matas e florestas	133	Número de cabeças de aves	6.304	Cabeças
Número de Estabel. com bovinos	145	Produção de leite de vaca	282	Mil litros
Número de Estabel. com caprinos	30	Produção de ovos de galinha	38	Mil dúzias
Número de Estabel. com ovinos	132			
Número de Estabel. com suínos	31			
Número de Estabel. com aves	207			
Número de Estabel. com produção de leite de vaca	49			
Número de Estabel. com produção de ovos de galinha	189			
BARAÚNA				
Estabelecimentos Rurais		Produção da Pecuária		
Número de Estabel. agropecuários	794	Número de cabeças de bovinos	5.111	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras permanentes	108	Número de cabeças de caprinos	2.644	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras temporárias	433	Número de cabeças de ovinos	5.103	Cabeças
Número de Estabel. com pastagens naturais	367	Número de cabeças de suínos	1.432	Cabeças
Número de Estabel. com matas e florestas	376	Número de cabeças de aves	6.314	Cabeças
Número de Estabel. com bovinos	432	Produção de leite de vaca	759	Mil litros
Número de Estabel. com caprinos	128	Produção de leite de cabra	19	Mil litros
Número de Estabel. com ovinos	178	Produção de ovos de galinha	36	Mil dúzias
Número de Estabel. com suínos	141			
Número de Estabel. com aves	176			
Número de Estabel. com produção de leite de vaca	201			
Número de Estabel. com produção de leite de cabra	7			
Número de Estabel. com produção de ovos de galinha	92			

Fonte IBGE (2007)

**Tabela 1.22** (continuação)

MOSSORÓ				
Estabelecimentos Rurais		Produção da Pecuária		
Número de Estabel. agropecuários	1.304	Número de cabeças de bovinos	16.411	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras permanentes	346	Número de cabeças de caprinos	16.009	Cabeças
Número de Estabel. com lavouras temporárias	963	Número de cabeças de ovinos	13.410	Cabeças
Número de Estabel. com pastagens naturais	282	Número de cabeças de suínos	2.110	Cabeças
Número de Estabel. com matas e florestas	668	Número de cabeças de aves	315.726	Cabeças
Número de Estabel. com bovinos	683	Produção de leite de vaca	3.616	Mil litros
Número de Estabel. com caprinos	338	Produção de leite de cabra	20	Mil litros
Número de Estabel. com ovinos	404	Produção de ovos de galinha	920	Mil dúzias
Número de Estabel. com suínos	219			
Número de Estabel. com aves	738			
Número de Estabel. com produção de leite de vaca	432			
Número de Estabel. com produção de leite de cabra	36			
Número de Estabel. com produção de ovos de galinha	505			

Fonte IBGE (2007)

### 1.5.7 - Demandas Hídricas

Os resultados da análise das demandas hídricas indicaram uma tendência de melhoria na eficiência de uso da água para irrigação, com aumento de área cultivada e diminuição da demanda hídrica por unidade de área. Esse quadro pode ser atribuído, principalmente, ao aumento de lavouras sistematizadas, que garante menor demanda hídrica, devido ao melhor aproveitamento da água de irrigação. A melhoria na eficiência de utilização da água é ainda maior nos cenários otimistas, em que se pressupõe, além do aumento de áreas sistematizadas, a utilização de cultivares de ciclo menor, condicionando reduções no período de irrigação. Esta configuração é atribuída ao aumento da área cultivada, que, mesmo com demanda específica menor, não garante que os conflitos sejam minimizados. Mesmo assim, os resultados mostraram que, dentro de uma mesma projeção futura, existe a possibilidade de haver significativas reduções na utilização de água, quando comparado à projeção da população, o que é evidenciado através das diferenças constatadas na comparação dos cenários tendenciais e otimistas, sendo estes últimos, menos impactantes na disponibilidade hídrica. A implementação de instrumentos de gestão e de planejamento de recursos hídricos, neste contexto, permite disciplinar o uso e alocar a água entre os diversos usuários de uma bacia hidrográfica.

O consumo hídrico dos municípios envolvidos no projeto é para o consumo humano, industrial, animal e para a irrigação e aquicultura. Destacando-se Aracati, Limoeiro do Norte e Mossoró devido aos pólos agroindustriais já implantados e a população urbana maior que os outros municípios.

Para a projeção dessas demandas setoriais - Abastecimento Humano (urbano e rural), Dessedentação Animal, Demanda Industrial e Irrigação, segundo o horizonte de planejamento – anos de 2005, 2015 e 2025 – foram tomados como referência diagnósticos da situação encontrada no ano de 2000 para as demandas humanas e industriais e no ano de 1996 para as demandas de irrigação e animal.

O ano 2000 foi escolhido, para o consumo humano e industrial em função da disponibilidade de dados do CENSO e da Pesquisa Nacional de Saneamento – PNSB, bem como pela grande disponibilidade de dados da Pesquisa Industrial Anual e das Estatísticas do Cadastro Central de Empresa, ambos do IBGE. Já a escolha do ano de 1996 para o consumo de irrigação e animal justificou-se pela disponibilidade da informação proporcionada pelo Censo Agropecuário 1995/1996.

As demandas obtidas através dessa metodologia para o horizonte de planejamento nos municípios da área de estudo são apresentadas nas **tabelas 1.23 e 1.24**. A **tabela 1.23** contém as demandas humanas, distribuídas em urbana e rural, sendo as demandas humanas urbanas três vezes maiores que as demandas humanas rurais. E no caso de Mossoró essa diferença é ainda maior, pois atualmente a demanda humana urbana é de 740,1 l/s e a demanda humana rural é 11,1 l/s.

Já as demandas para a irrigação são muito superiores às demandas humanas e industriais, como pode ser visto na **tabela 1.24**, onde Jaguaruana destaca-se na demanda para irrigação das culturas frutíferas, ficando menor que Limoeiro do Norte e Mossoró.

A demanda industrial é maior nos municípios do baixo Jaguaribe devido ao processo de fabricação dos sucos e processamento das frutas, já na Região do Mossoró as atividades industriais dos derivados do petróleo e sal utilizam grandes quantidades dos recursos hídricos da região.

Os valores outorgados atendem as demandas hídricas atuais nos cenários otimistas e se o regime de precipitações mantiver o padrão regional dos milímetros registrados nas últimas décadas.

**Tabela 1.23** - Distribuição da demanda hídrica para consumo humano em 2005 e previsão para 2015 e 2025 em L/s.

MUNICÍPIO	Demanda Humana Urbana			Demanda Humana Rural			Demanda Humana Total		
	2005	2015	2025	2005	2015	2025	2005	2015	2025
Aracati	120,3	151,4	174,3	23,5	19,6	18,0	143,8	171,0	192,3
Jaguaruana	50,1	66,6	79,6	13,6	11,1	10,8	63,8	77,7	90,4
Limoeiro do Norte	89,4	121,3	148,3	22,5	18,8	18,6	111,9	140,0	166,9
Quixeré	30,2	41,4	51,4	7,5	6,3	6,3	37,7	47,7	57,7
Areia Branca	47,8	53,5	56,9	4,7	2,9	2,1	52,5	56,5	59,0
Baraúna	35,2	43,1	48,4	7,3	5,9	5,3	42,5	49,1	53,8
Mossoró	740,1	818,0	849,2	11,1	-	-	751,2	818,0	849,2

**Tabela 1.24** - Distribuição da demanda hídrica para consumo animal, industrial e irrigação em 2005 e previsão para 2015 e 2025 em L/s.

MUNICÍPIO	Demanda Animal			Demanda Industrial			Demanda para Irrigação			Total da Demanda		
	2005	2015	2025	2005	2015	2025	2005	2015	2025	2005	2015	2025
Aracati	7,3	7,7	8,2	28,4	31,4	34,7	165,7	189,8	217,5	201,4	228,9	260,3
Jaguaruana	14,9	15,7	16,5	18,9	20,9	23,1	1.601,0	1.834,3	2.101,7	1.634,8	1.870,9	2.141,4
Limoeiro do Norte	12,8	13,5	14,2	18,9	20,9	23,1	2.534,5	2.903,9	3.327,2	2.566,2	2.938,3	3.364,5
Quixeré	6,3	6,6	7,0	-	-	-	483,8	554,3	635,1	490,0	560,9	642,1
Areia Branca	1,8	1,9	2,0	33,4	36,9	40,8	4,5	5,2	5,9	39,7	44,0	48,7
Baraúna	5,4	5,7	6,0	-	-	-	269,2	308,5	353,4	274,6	314,2	359,4
Mossoró	17,1	18,0	19,0	234,1	258,6	285,6	1.895,2	2.171,5	2.488,0	2.146,4	2.448,0	2.792,6

## 1.6 – Processamento digital de imagens de satélite

### 1.6.1 - Introdução

O sensoriamento remoto permite coletar informações sobre um objeto, área ou fenômeno por meio da análise de dados adquiridos por um sistema que não se encontra em contato com esse objeto, área ou fenômeno sob investigação (Novo, 2008). Devido a este fato, o sensoriamento remoto tem sido usado como ferramenta de análise ambiental, onde possibilita facilidades da representação da espacialidade cartográfica do fenômeno analisado e integração dos dados pelo mapeamento temático (Florenzano, 2002).

A extração de informações provenientes das imagens orbitais dos satélites requer a manipulação numérica de dados envolvendo a análise e o processamento digital. As imagens são captadas a grande distância da superfície terrestre sofrendo influência da atmosfera e da plataforma onde se encontra o sensor.

Por sua vez, o Geoprocessamento reúne um conjunto de técnicas relacionadas ao tratamento da informação espacial. Tem início com a coleta dos dados a partir de bases cartográficas existentes ou através de levantamentos cartográficos, sensoriamento remoto (processamento de imagens), fotogrametria, levantamento topográfico, GPS e obtenção de dados alfanuméricos, os quais são dados numéricos ou textos armazenados em tabelas. Segue com o armazenamento desses dados em um banco de dados geográfico. O tratamento analítico das informações, por sua vez, consiste em modelagem dos dados, que tem como exemplos a aplicação de técnicas de geoestatística, aritmética lógica, análise de redes, análise topológica, reclassificação, dentre outros.

As ferramentas computacionais para o geoprocessamento são os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) ou GIS, a sigla em inglês para Geographic Information System, mais comumente utilizada. Essa ferramenta permite realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos (Câmara *et. al.* 2001)

No presente capítulo serão apresentados os resultados da análise e identificação do uso e ocupação do solo, como também dos padrões de vegetação através de técnicas de processamento digital de imagens orbitais. Para isto, foram utilizadas imagens de satélite CBERS, georreferenciadas e classificadas nos SIGs SPRING e ArcGis. Em paralelo foram desenvolvidos trabalhos de campo para validação do mapeamento temático da área de estudo, com a obtenção de pontos de controle.

Em conjunto com as atividades de processamento digital de imagens foram elaborados os seguintes mapas temáticos a) Mapa dos limites e contatos das formações geológicas envolvidas; b) Mapa da drenagem e dos corpos d'água superficiais; c) Mapa dos fotolineamentos; d) Mapa das estruturas e feições cársticas da Formação Jandaíra; e) Mapa hipsométrico; f) Mapa das unidades de solos; g) Mapa de classes de vegetação; h) Mapa de uso e ocupação do solo i) Mapa de ocorrência das unidades aquíferas com estruturas cársticas e poços cadastrados. Todos esses produtos, na sua elaboração, receberam subsídios das técnicas de processamento geográfico digital de imagens.

A primeira etapa referente à metodologia do processamento digital de imagens consistiu na correção geométrica das imagens. Nesta fase realizou-se a retificação (ou georreferenciamento), que significa adequar a imagem para um sistema de coordenadas planimétrico a partir de pontos de controle previamente conhecidos no sistema de projeção cartográfica UTM (Universal Transversa de Mercator) no DATUM SAD-69.

A segunda etapa consistiu da execução de vários processamentos radiométricos e espectrais (Realce por Componentes Principais, Realce Linear, Índice de Vegetação Normalizada – NDVI) nas imagens, visando torná-las mais apropriadas para interpretação. Para tanto, foram usadas informações de conhecimento prévio do comportamento dos alvos e análise visual.

A terceira etapa tratou da classificação da imagem, que consiste na associação dos pixels a uma categoria (ou classe temática). Este processo gera uma imagem mais simplificada da realidade e torna possível a geração de mapas temáticos. O modelo de classificação é denominado supervisionado, onde o usuário define as classes e seleciona amostras que são associadas às classes temáticas através de parâmetros estatísticos. Neste processamento o classificador utilizado foi o Bhattacharya.

De posse dos resultados provenientes da classificação das imagens foram elaborados os mapas temáticos do Uso e Ocupação do Solo e Classificação da Vegetação.

A quarta etapa consistiu no realce de contrastes das imagens pela manipulação dos seus histogramas. Para o realce das imagens, utilizou-se a função de transferência gaussiana, pois, como afirma Crósta (1999) com esse método as informações contidas nas extremidades do histograma são realçadas, possibilitando o destaque do contraste. No caso do presente trabalho, isso levou à identificação dos contornos desejados, ou seja, dos limites e contatos das formações geológicas, dos lineamentos e drenagem, bem como das estruturas e feições cársticas da formação Jandaíra.

Todos os mapas foram representados na escala 1:100.000 e seguiram as especificações previstas nos Termos de Referência. Eles incluem Título, data da cobertura da imagem (no caso dos produtos originados por processamento digital de imagem), coordenadas cartográficas, escala gráfica e seta norte. Os produtos gerados, bem como os Planos de Informação criados em formato .shp, com seus devidos atributos corrigidos e/ou adicionados, devem compor o acervo da ANA e SEMARH/RN e SRH/CE.

## **1.6.2 - Materiais e Métodos**

### **1.6.2.1 - Materiais**

Objetivando dar subsídios ao conhecimento do uso e ocupação do solo, dos aspectos geológicos, pedológicos, da hidrologia e hidrogeologia, como também verificar os padrões de vegetação, os materiais utilizados no processamento digital das imagens, nas análises em geoprocessamento e na elaboração dos mapas temáticos foram:

## Softwares

- Processamento de Imagens SPRING versão 5.1 e REGEEMY na versão 0.2.43.
- Manipulação de arquivos vetoriais AutoCad Map 2005.
- Mapas e shapes Arcgis versão 9.3.

## Produtos cartográficos

- Cartas da SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste) na escala de 1:100.000, digitalizadas e atualizadas pela Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos em 2003 - SERHID/RN (Mapa Índice/Folha (Nome) – 822/SB.24.X-A-V (Bonhu); 823/SB.24.X-A-V-I (Aracati); 824/SB.24.X-B-IV (Areia Branca); 895/SB.24.X.C.II (Limoeiro do Norte); 896/SB.24.X-C-III (Quixeré) e 897/SB.24.X-D-I (Mossoró).
- Arquivos .shp da base de dados do IBGE/Divisões Territoriais (2005) – Limite Estadual e Limite Municipal.
- Modelo Digital do Terreno SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de resolução espacial de 90 metros obtida no site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) - Monitoramento por Satélite.

## Imagens de satélite

As imagens utilizadas foram provenientes do sensor CCD do satélite CBERS- 2 e CBERS-2b, desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com as seguintes características: resolução espacial de vinte (20) metros; cinco (5) bandas espectrais; e resolução radiométrica de 8 bits.

A área de estudo em sua totalidade foi coberta por quatro cenas do sensor CBERS-2 e uma cena do CBERS-2b (**tabela 1.25**). Tendo em vista a presença de nuvens não foi possível adquirir cenas com a mesma data de imageamento.

**Tabela 1.25** - Informações das imagens CBERS utilizadas no trabalho.

SATÉLITE	SENSOR	ORBITA/PONTO	DATA
CEBERS-2	CCD	149/105	25/06/2008
CEBERS-2	CCD	149/106	24/07/2008
CEBERS-2	CCD	150/105	21/07/2008
CEBERS-2	CCD	150/106	05/08/2007
CBERS-2B	CCD	149/106	11/10/2008

As características RGB (red, green, blue) das bandas espectrais e demais componentes da câmara imageadora de alta resolução CCD, produtora das imagens, estão especificadas na **tabela 1.26**.

**Tabela 1.26** - Característica da Câmara Imageadora de Alta Resolução CCD.

BANDAS ESPECTRAIS	0,51 - 0,73 $\mu\text{m}$ (pan)
	0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$ (azul)
	0,52 - 0,59 $\mu\text{m}$ (verde)
	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$ (vermelho)
	0,77 - 0,89 $\mu\text{m}$ (infravermelho próximo)
CAMPO DE VISADA	8,3
RESOLUÇÃO ESPACIAL	20X20 m
LARGURA DA FAIXA IMAGEADA	113 km
RESOLUÇÃO TEMPORAL	26 DIAS COM VISADA VERTICAL 3 DIAS COM VISADA LATERAL
RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA	8 Bits

### 1.6.2.2 - Métodos

#### 1.6.2.2.1 - Definição da área de estudo

A área de estudo, cobre uma superfície de 2.585 km<sup>2</sup> situada na região fronteira dos Estados do Rio Grande do Norte e Ceará. É delimitada por um polígono que se desenvolve de Leste para Oeste entre os Rios Apodi, na altura da cidade de Mossoró, e Jaguaribe, na altura da cidade de Quixeré. No setor Oeste, no lado cearense, contém parte dos municípios de Tabuleiro do Norte, Limoeiro do Norte, Quixeré e Jaguaruana. A Leste, no lado potiguar, inclui parcialmente os municípios de Baraúna e Mossoró, como pode ser verificado na **figura 1.17**.

#### 1.6.2.2.2 - Organização da base de dados cartográficos

Primeiramente foi realizada uma compilação dos dados cartográficos a partir das cartas da SUDENE digitalizadas e atualizadas pela SERHID/RN. Com a utilização do Auto Cad Map 2005, os layers de drenagem, açudes, lagos e lagoas e sistema viário foram exportados como arquivos shapefile, possuindo o sistema de referência original (Córrego Alegre, fuso 24). No software ArcGis realizou-se a transformação dos arquivos .shp de Córrego Alegre para SAD 69, fuso 24. Ainda no ambiente SIG os dados geográficos foram corrigidos e adicionados atributos como nomes de rios e açudes, bem como do sistema viário. Essa base serviu para subsidiar as correções geométricas da imagem (georreferenciamento).

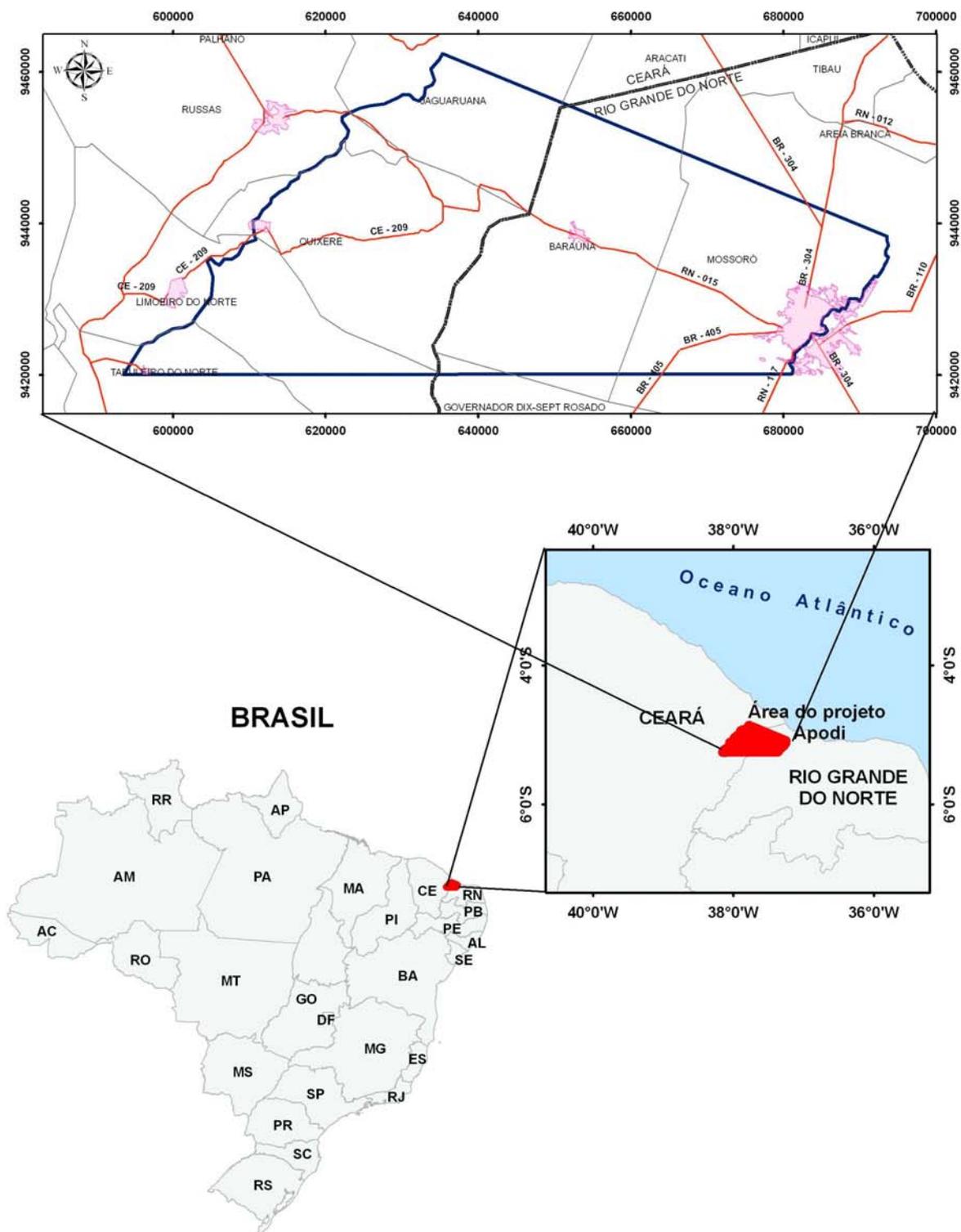


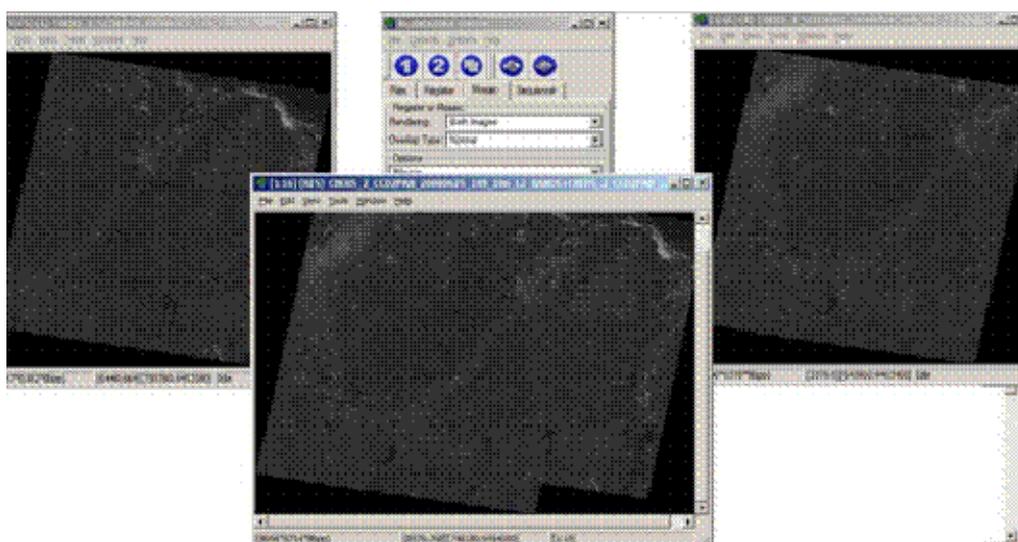
Figura 1.17 - Mapa de Localização da área de estudo.

As curvas de nível com equidistância de 50 metros foram geradas a partir do modelo de elevação do terreno (SRTM do Global Mapper), para padronizar a equidistância entre as curvas de nível. Para a suavização e compatibilização com as curvas de nível originais da base da SUDENE com equidistância de 40 e 50 metros foi aplicado um método de interpolação (Kriging) no modelo de elevação e, assim, foi utilizada a ferramenta “contour” no software ArcGis 9.3 para gerar as curvas. Os arquivos .shp do IBGE foram transformados de SIRGAS (Datum original utilizado atualmente pelo IBGE) para SAD 69. Ao final de todos esses processos pôde-se gerar um banco de dados geográficos para o projeto em questão.

### 1.6.2.2.3 Processamento digital das imagens de satélite

#### *Etapa de pré-processamento*

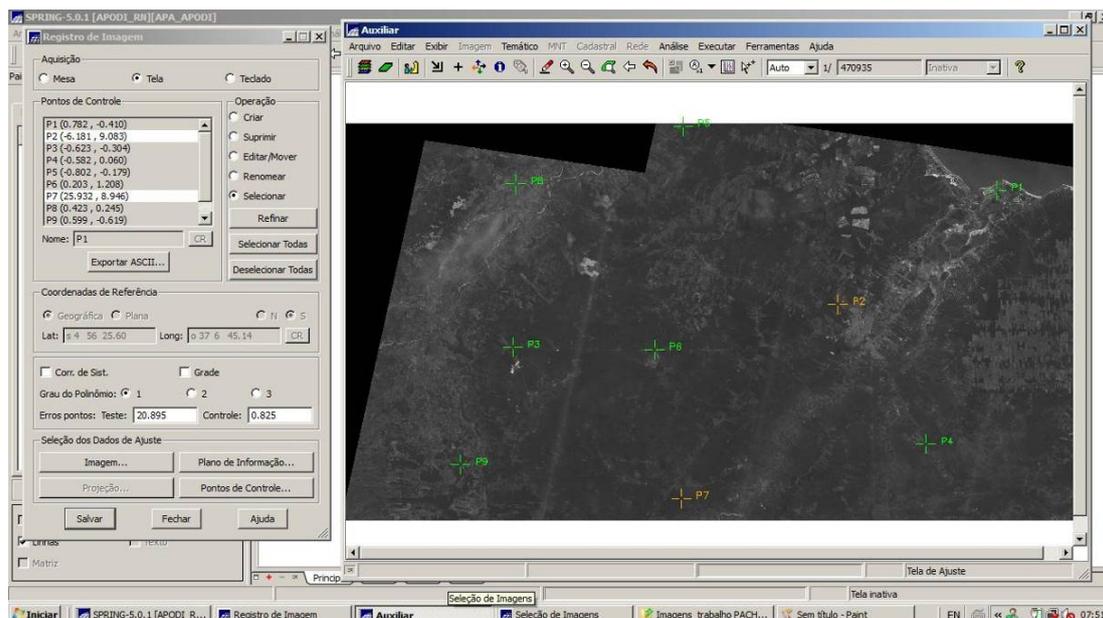
As imagens CBERS foram adquiridas através do site do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). Após o download das imagens iniciou-se o processo de mosaico, para esse fim utilizou-se o software Regeemy desenvolvido pelo INPE (**figura 1.18**). Foram estabelecidos pontos de controle como feições bem definidas e facilmente reconhecíveis tanto na imagem quanto no mapa. Exemplos comuns de pontos de controles são interseções de estradas, pistas de aeroportos, interseção de drenagens, entre outros.



**Figura 1.18** - Mosaico de imagens no software Regeemy desenvolvido pelo INPE.

O georreferenciamento das imagens ocorreu no ambiente do software SPRING 5.1 em dois momentos, onde se buscou registrar a imagem com base no sistema de referência SAD-69 e posteriormente com o sistema de referencia WGS-84.

O registro foi efetuado utilizando seis pontos de controle com uma correção de polinômio de primeiro grau, onde o erro quadrático médio foi de 0,82 pixel. A realização do georreferenciamento em SAD-69 teve como base as cartas da SUDENE, convertidas para esse sistema (**figura 1.19**).



**Figura 1.19** - Registro da imagem na região da poligonal envolvente da área de estudo em SAD69.

O registro em WGS-84, embora não exigido nos Termos de Referência, foi levado a efeito utilizando imagens do Google Earth, tão somente como uma alternativa adicional destinada a possibilitar a utilização de um modelo digital do terreno, e desse modo assegurar uma melhor precisão à modelagem hidrogeológica do fluxo subterrâneo, uma vez que o registro em SAD 69 utiliza apenas imagens planas.

### ***Etapas de processamento***

As imagens CBERS- 2 e CBERS-2b foram manipuladas numericamente no SIG Spring através de técnicas de processamento de imagem, visando à obtenção de informações para geração dos mapas temáticos uso e ocupação do solo e de vegetação. Para tanto, foram desenvolvidas as seguintes etapas de processamento de realce:

- ✓ Realce radiométrico negativo da banda 4;
- ✓ Realce espectral por principais componentes;
- ✓ NDVI (Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada) Dentre os inúmeros índices de vegetação citados na literatura, o NDVI, índice de vegetação por diferença normalizada, está entre os mais utilizados, e é dado pela **equação 1.1**.

Sendo  $\rho_{IVP}$  e  $\rho_V$  a reflectância no infravermelho próximo e no vermelho, respectivamente.

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad (1.1)$$

A classificação multiespectral da imagem foi realizada em 2 etapas segmentação e classificação.

A segmentação foi realizada através do algoritmo por crescimento de regiões, nas imagens resultantes dos processamentos de realce citados anteriormente. A definição dos limiares de similaridade e de área foi obtida através de testes

empíricos e baseada em conhecimento a priori da área. As imagens foram classificadas utilizando o classificador por regiões Bhattacharya e limiar de aceitação igual 99,9%.

Os resultados da matriz de erro foram analisados e foram selecionados os melhores percentuais de separação dos alvos de interesse para o mapeamento das classes temáticas.

Enfim, a classificação das imagens de satélite que geraram o mapa de vegetação e uso do solo sucedeu com base no conhecimento prévio do comportamento espectral de água, solo e vegetação. A partir desse princípio identificaram-se as categorias de paisagem e respectivas áreas de ocupação seguintes vegetação de cultivo, caatinga densa, caatinga aberta, solo cultivado, solo exposto e água; e em relação o uso do solo foram identificadas área urbana, agricultura, água, solo exposto, vegetação natural e vegetação ciliar.

#### **1.6.2.2.4 - Elaboração dos demais mapas temáticos**

##### ***Mapa da drenagem e dos corpos d'água superficial***

Inicialmente a drenagem foi obtida a partir da base topográfica das cartas na escala de 1:100.000 e corrigidas a partir do mosaico das imagens CBERS e do modelo de elevação SRTM.

##### ***Mapa de solos***

O mapa de solos da área de estudo foi gerado a partir da vetorização das cartas do Levantamento Exploratório condensado nos Mapas de Reconhecimento de Solos do Estado do Rio Grande do Norte, na escala 1:600.000 (EMBRAPA, 1971), e do Estado do Ceará, na escala 1:500.000 (EMBRAPA, 1973).

O referido levantamento foi executado pelo convênio firmado entre o Ministério da Agricultura e o Ministério do Interior (SUDENE) e os dados estão disponíveis no site da EMBRAPA sob a forma de mapas municipais. A antiga classificação foi comparada com o novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (1999), mais recentemente editado pela Embrapa Solos (Bezerra, 2006). A comparação é mostrada na **tabela 1.27** de acordo com os solos existentes na área de estudo nos níveis hierárquicos genéricos.

##### ***Mapas de Classes de Vegetação e Uso e Ocupação do Solo***

O processamento das imagens foi orientado no sentido de melhorar a qualidade dos produtos através da aplicação de uma técnica de realce linear. Após essa etapa foi realizado o arranjo RGB 342. Visando ainda a identificação de outros alvos foram empregadas técnicas de processamento de imagens, tais como principais componentes e NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Deste modo, para a extração das informações de cobertura vegetal, uso e ocupação do solo foram seguidos os seguintes passos:

- ✓ Extração do elemento água através do realce negativo da banda 4;
- ✓ Segmentação da imagem RGB 342 realçada;
- ✓ Classificação por meio da técnica de crescimento por região usando o classificador Bhattacharya com limiar de aceitação igual 99,9%.

**Tabela 1.17** - Comparação da nomenclatura da antiga classificação de solos utilizados pelos levantamentos com a de 2006.

Classe de solo dos Levantamentos Exploratórios do Rio Grande do Norte e Ceará (EMBRAPA, 1971 e 1973)	Classes de solos segundo o novo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos mais recente, editado pela EMBRAPA Solos (2006)
Cambissolo Eutrófico	Cambissolo Háptico
Latosolo Vermelho Amarelo	Latosolo Vermelho-Amarelo
Podzólico Vermelho-Amarelo	Argissolo Vermelho-Amarelo
Solo Litólico	Neossolo Litólico
Vertissolo	Vertissolo
Solos Aluviais	Neossolo Flúvico
Solonchak	Gleissolo Sálico

### ***Mapa Hipsométrico***

O mapa hipsométrico foi gerado a partir da utilização do Modelo Digital de Elevação SRTM, no software ArcGIS 9.3. Primeiramente foi feito um mosaico das imagens em “Data Management Tool / Raster / Mosaic To New Raster”, posteriormente realizou-se um “clip” (recorte da imagem mosaicada) a partir das coordenadas (X1 = 565686; Y1 = 9402528 e X2 = 727139; Y2 = 9482927), que excedem o polígono da área de estudo. Com a imagem recortada foi gerado um TIN (Triangular Irregular Network) para a representação da superfície.

### ***Mapa das estruturas e feições cársticas da Formação Jandaíra***

As estruturas e feições cársticas da Formação Jandaíra também foram identificadas através das imagens de satélite CBERS, com composição colorida 4R3G2B, de mesmo procedimento metodológico de realce das imagens descrito nos dois itens anteriores. Essa composição colorida possibilitou a identificação dos afloramentos do calcário Jandaíra, e, com a utilização das cartas topográficas da SUDENE, em regiões onde a topografia apresenta curvas de nível fechadas, puderam-se identificar ocorrências de dolinas e/ou sumidouros. Essas estruturas identificadas na imagem de satélite foram certificadas com a ida a campo, com a orientação das coordenadas preestabelecidas.

### ***Mapa dos limites e contatos das formações geológicas envolvidas***

O processamento digital realizado para a identificação dos limites e contatos geológicos resultou do realce de contrastes das imagens CBERS 2 pela manipulação dos seus histogramas. Para o realce das imagens, utilizou-se a função de transferência gaussiana, pois com esse método as informações contidas nas extremidades do histograma são realçadas, possibilitando o destaque do contraste e permitindo a identificação dos contornos desejados. De acordo com Crósta (1999) ao se produzir composições coloridas de três bandas, o uso da função gaussiana é desejável, pois as três bandas poderão ter seus histogramas com a mesma média e desvio padrão, obtendo-se assim um balanceamento de cores na composição.

Optou-se por escolher a combinação das bandas RGB (432) das imagens CBERS, ou seja, duas bandas do visível (2 e 3) e uma banda do Infra Vermelho Próximo (banda 4), que possibilitou um melhor detalhamento das feições, contornos e lineamentos geológicos. A composição colorida aumenta muito a quantidade de informação que pode ser visualizada e interpretada, já que o sistema visual humano pode ver um maior contraste de matizes de cor do que níveis de cinza.

Após esses procedimentos foram realizadas comparações com as bases já existentes, que são o Mapa Geológico do Estado Rio Grande do Norte (CPRM 2006 – 1:500.000); Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará (CPRM 2003 – 1:500.000); Mapa Geológico - Folha Jaguaribe SB.24 (CPRM 2004 – 1:1.000.000) e Mapa Geológico da Bacia Potiguar na escala 1:50.000 realizado pela PETROBRAS (Cypriano & Nunes, 1968).

### ***Mapa dos Fotolineamentos***

O material utilizado para a extração dos fotolineamentos foi constituído de:

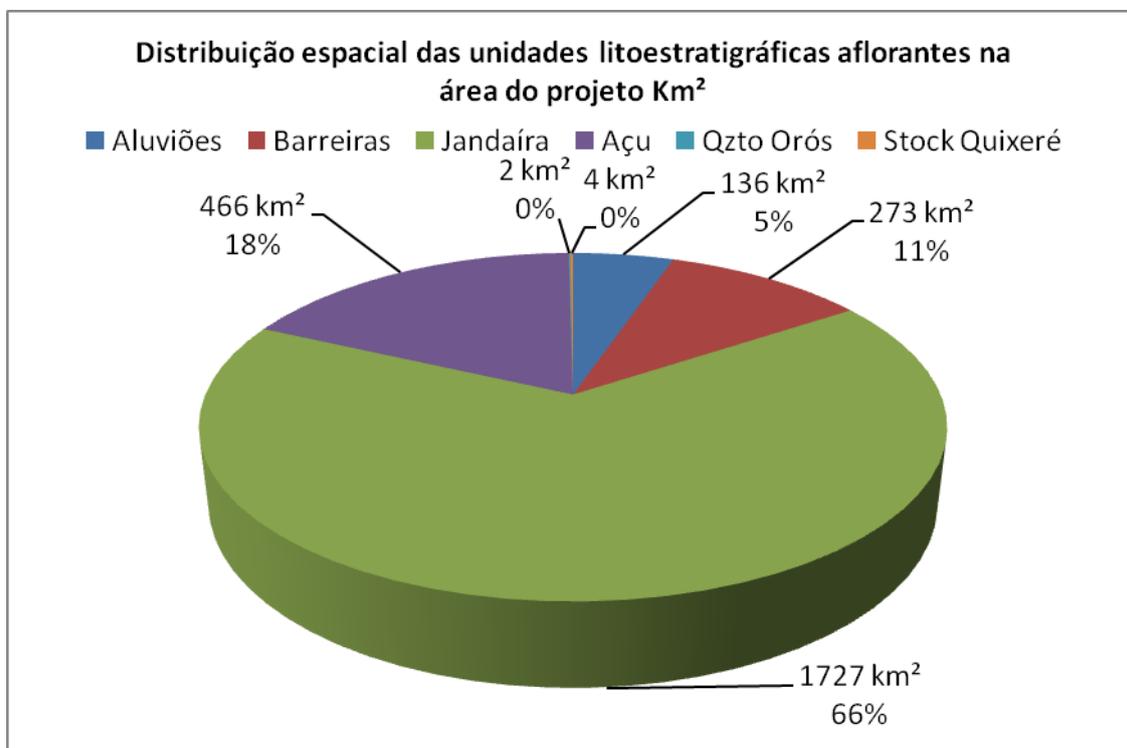
- Imagens CBERS 2. Optou-se por escolher as bandas 2, 3 e 4 nas composições 4R3G2B e 3R4G2B, sendo estas composições as melhores para separar as lineações de relevo, aplicando a mesma metodologia de realce de contraste das imagens descrita no item acima;
- Integração do mapa geológico e do mapa da rede de drenagem com o Modelo Digital de Elevação SRTM. No software ArcGIS 9.3, foi realizado um sombreamento (hillshade) das imagens SRTM, com exagero vertical de 3 vezes, para melhor visualização dos lineamentos.

Para a extração dos lineamentos, o procedimento metodológico utilizado foi a foto-leitura, seguindo a sistemática e a lógica da fotointerpretação de imagens de satélite, que tira proveito da circunstância de que as lineações são refletidas em superfície e que esse reflexo pode ser identificado em imagens de Sensoriamento Remoto.

### 1.6.3 - Apresentação dos demais mapas e descrição

#### 1.6.3.1 - Mapa do Limite e Contato das Formações Geológicas Envolvidas

A distribuição percentual das áreas ocupadas pelas unidades litoestratigráficas contidas no mapa geológico da área do projeto é ilustrada na **figura 1.20**.



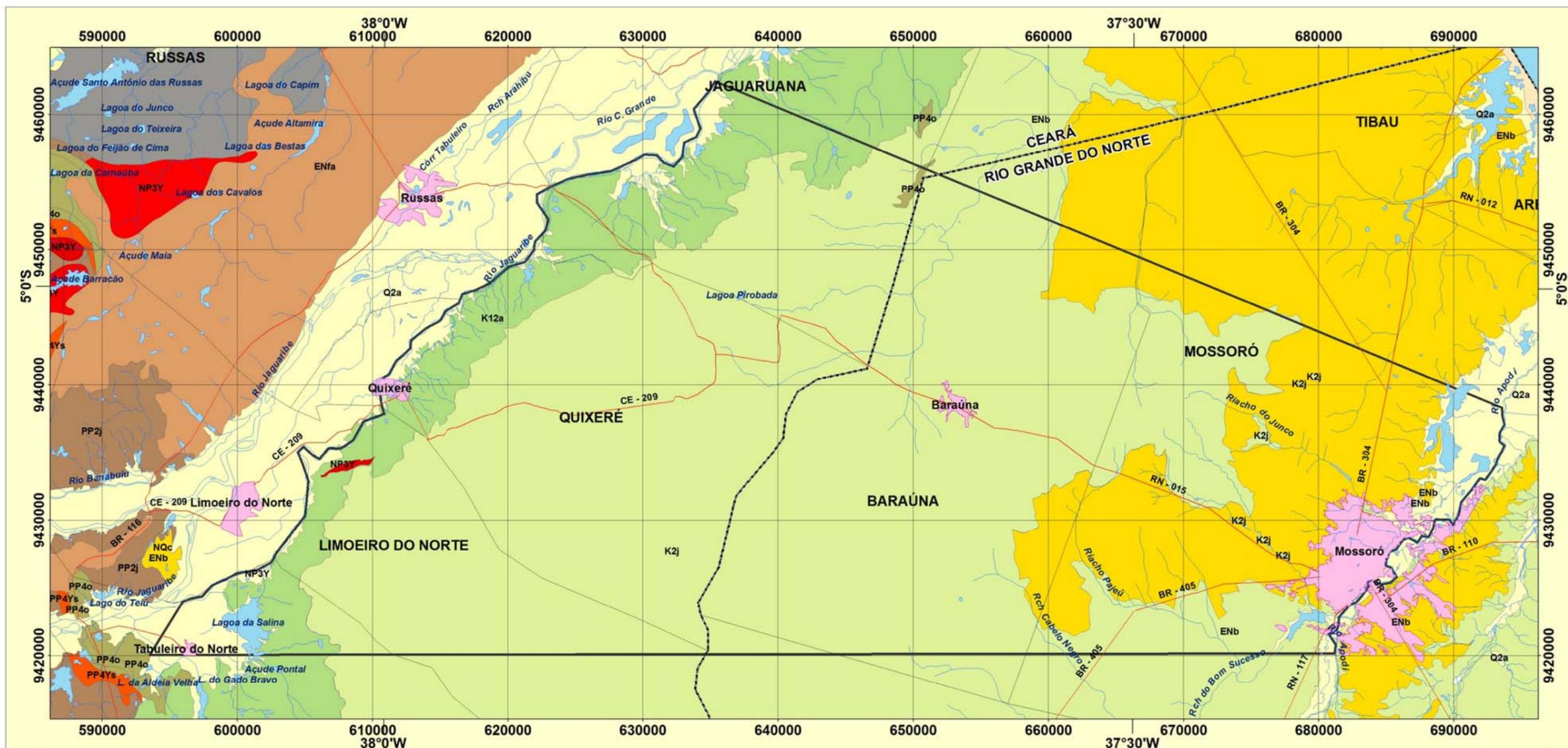
**Figura 1.20** – Gráfico da distribuição percentual das unidades litoestratigráficas no mapa geológico da área do projeto.

No referido mapa, as formações geológicas envolvidas são constituídas de:

- ✓ **Depósitos aluvionares** sedimentos recentes, inconsolidados, arenos-argilosos, representados por aluviões, considerados de pouco interesse hidrogeológico por dois motivos principais primeiro, em face da sua reduzida área de ocorrência, que não passa de 5% (136 km<sup>2</sup>) e em segundo lugar pela má qualidade das águas subterrâneas na sua área de ocorrência. De fato, a pequena área aluvionar mapeada fica quase totalmente restrita a três pequenas manchas, que ocupam, respectivamente, os extremos nordeste, noroeste e sudoeste da área do projeto, como mostra o mapa da **figura 1.21**. A porção situada no extremo nordeste da área, ao norte da cidade de Mossoró, no vale do Apodi, encontra-se fortemente influenciada por águas salinas de origem marinha e ainda contaminadas por esgotos domésticos oriundos da zona urbana de Mossoró. Embora em menor grau, também a mancha aluvionar mapeada no extremo sudoeste da área, sofre influência de águas salinizadas, posto que se encontra a oeste da Lagoa da Salina e dela certamente recebe fluxos subterrâneos induzidos, na medida em que a ela está intrinsecamente ligada. Torna-se, assim, a exemplo da mancha ao norte de Mossoró, igualmente desprovida de interesse hidrogeológico. A terceira e última mancha, com 38 km<sup>2</sup>, aparece na

porção noroeste, comprimida entre o rio Jaguaribe e os arenitos da Formação Açú expostos nas vertentes da cuesta da Chapada do Apodi.

- ✓ **Formação Barreiras** na área de estudo, como se vê na **figura 1.21**, ocorre apenas no setor leste, sobre os calcários da Formação Jandaíra numa faixa que se estende de sudoeste para nordeste, entre as cidades de Baraúna e Mossoró. Nessa faixa se encontra a linha divisória de águas superficiais entre as bacias hidrográficas do rio Apodi e do riacho Mata Fresca. A sua expressão territorial é de 273 km<sup>2</sup> (11%) da área do projeto. As observações de campo, associadas com dados de poços profundos perfurados em Baraúna e Mossoró, dão conta de que a espessura varia de aproximadamente 5 m a 38 m. Nos perfis litológicos dos poços onde existem registros da ocorrência dessa Formação, sobre os calcários Jandaíra, a mesma encontra-se revestida e localizada na zona não saturada. Não há registro de poço, na área do projeto, que tenha zona de admissão de água nessa Formação. Assim sendo, do ponto de vista hidrogeológico, longe de ser um *aquífero*, ela se caracteriza muito mais como *aquífugo* (isto é, como unidade hidrogeológica através da qual as águas de recarga “fogem” para os calcários subjacentes).
- ✓ **Formação Jandaíra** representa a unidade geológica mais expressiva da região mapeada, cobrindo uma superfície de 1727 km<sup>2</sup> (66% área do projeto). Nela se encontram 97% dos poços cadastrados (1396), que se constituem na grande fonte de água subterrânea usada essencialmente para irrigação.
- ✓ **Formação Açú** aflora na região ocidental da área do projeto, entre o rio Jaguaribe e a cuesta calcária da Chapada do Apodi, cobrindo uma superfície de 466 km<sup>2</sup> (18%). É uma área praticamente desprovida de poços, a exceção das 3 (três) perfurações de pesquisa realizadas no âmbito do presente estudo no Sítio Vertentes – Santa Cruz, entre a cidade de Quixeré e a cuesta da Chapada do Apodi.
- ✓ **Embasamento cristalino** duas exposições praticamente pontuais, de rochas cristalinas se fazem presentes na área mapeada. São elas os quartzitos da Serra Dantas (Grupo Orós) e os granitóides do stock Quixeré. Em conjunto, essas exposições são territorialmente insignificantes (**figuras 1.20 e 1.21**), assim como também o são, do ponto de vista hidrogeológico.



MAPA DOS LIMITES E CONTATOS DAS FORMAÇÕES GEOLÓGICAS		Escala Numérica 1:100.000		MAPA DE LOCALIZAÇÃO			
<p><b>UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS</b></p> <p><b>NEÓGENO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NQc - Depósitos colúvio-eluviais (Areia, Argila, Cascalho)</li> <li>Q2a - Depósitos aluvionares (Areia, Cascalho)</li> <li>Q2l - Depósitos litorâneos (Areia, Argila)</li> <li>ENb - Barreiras (Argilito Arenoso, Arenito Conglomerático)</li> <li>ENfa - Faceira (Arenito, Conglomerado)</li> </ul> <p><b>CRETÁCEO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>K2j - Jandaira (Calcarenito, Calcilitito, Folhelho)</li> <li>K12a - Açú (Arenito, Siltito)</li> </ul> <p><b>NEOPROTEROZÓICO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NP3Y - Granitóides de quimismo indiscriminado (Diorito, Granito, Granodiorito, Monzonito)</li> <li>NP3Y - Plúton São Pedro (Diorito, Granito, Granodiorito, Monzonito)</li> <li>NP3Y - Suite intrusiva Itaporanga - Stock Quixeré (Diorito, Granito, Granodiorito, Monzonito)</li> </ul>		<p><b>PALEOPROTEROZÓICO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>PP4Ys - Suite Serra do Deserto (Granito, Granodiorito)</li> <li>PP4o - Orós (Gnaiss, Xisto, Quartzito, Metacalcário)</li> <li>PP2a - Acopiara (Migmatito, Paragneisse)</li> <li>PP2j - Jaguaratema (Ortogneisse, Paragneisse)</li> </ul>		<p>Projeção Universal Transversa de Mercator - UTM Fuso 24</p> <p>SISTEMA GEODÉSICO: SAD 69</p>		<p>MAPA DE LOCALIZAÇÃO</p> <p>Mostrando a localização da área de estudo no Nordeste do Brasil, com os estados de Maranhão, Ceará, Piauí, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. O Rio Grande do Norte é destacado em vermelho.</p>	
<p><b>CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Açudes, lagos e lagoas</li> <li>Drenagem</li> <li>Estradas Pavimentadas</li> <li>Limite Municipal</li> <li>Núcleos Urbanos</li> <li>Limite Estadual</li> <li>Área de estudo</li> </ul>		<p>Fonte de Informação:</p> <p>Base Cartográfica: Cartas da SUDENE 1:100.000 (Aracati, Mossoró, Quixeré, Areia Branca, Limoeiro do Norte, Bonhu) e IBGE (Limite estadual e municipal)</p> <p>Base Temática: Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte - CPRM 2006 (Escala 1:500.000); Atlas Digital de Geologia e Recursos Minerais do Ceará - CPRM 2003 (Escala 1:500.000); Mapa Geológico - Folha Jaguaribe (SB 24) - CPRM 2004 Escala 1:1.000.000; Mapa Geológico da Bacia Potiguar - PETROBRAS 1968</p>		<p>Ministério do Meio Ambiente</p> <p>DATA: Dezembro/2009</p>			

Figura 1.21 - Mapa do limite e contatos das formações geológicas envolvidas na área de estudo.

### 1.6.3.2 - Mapa dos Fotolineamentos

Os lineamentos evidenciados através da análise foto-geológica e das visitas de campo à área de estudo, são apresentados no mapa da **figura 1.22**. Conforme se pode observar, através do exame detalhado desse mapa, os lineamentos mapeados se distribuem regionalmente de maneira descontínua. Isso naturalmente pelo fato de que somente podem ser detectados nas zonas de exposição do calcário Jandaíra. Resta dizer que ocorrem amplas áreas com cobertura de solos residuais onde nenhum lineamento pode ser observado, seja na foto-interpretação seja no campo.

Todavia, nas suas zonas de exposição, os calcários, em escala mesoscópica, ora se apresentam sob a forma de amplos lajedos que chegam a cobrir centenas de metros, com presença de grandes aberturas de dissolução cárstica, ora sob a forma de blocos de dimensões relativamente reduzidas que afloram aqui e ali, dispersos como pequenas ilhas, num verdadeiro mar de solos residuais.

Em todas essas exposições é marcante a presença de juntas, fraturas e diáclases, com direções principais bastante diversificadas, cuja descrição detalhada se faz no capítulo 3, da geologia estrutural. No mapa de fotolineamentos são passíveis de destaque, por exemplo:

- ✓ Lineamentos de direção E-W na região de Tiradentes, no norte da área, na altura da fronteira Ceará - Rio Grande do Norte e ainda, de forma menos expressiva, a nordeste de Macaco e a leste de Baixa Branca no extremo sul da área;
- ✓ Lineamentos de direções NW-SE, são os mais expressivos e constituem, por assim dizer, o *trend primário*, dessas estruturas na área de estudo. Podem ser vistos na zona oeste, principalmente entre a fronteira estadual e a borda da Chapada do Apodi passando ao sul de Bonsucesso. Mais ao sul, a leste de Baixa Branca essa mesma direção de lineamento também assume expressão significativa. Por fim, também a leste, no complexo espeleológico da Furna Feia, entre a cidade de Baraúna e a Serra Mossoró.
- ✓ Lineamentos de direção geral NE-SW constituem o *trend secundário* das estruturas do calcário Jandaíra na área de estudo. Se manifestam principalmente na zona leste, no complexo espeleológico da Furna Feia, a leste da Serra Mossoró e também no sudoeste da área de estudo, ao sul da localidade de Macaco.
- ✓ Alinhamentos estruturais de direção N-S são vistos no extremo sul da área a leste de Baixa Branca e no extremo norte da área, na altura de Vila Nova, no domínio da Formação Barreiras, condicionando a drenagem superficial da área do complexo espeleológico da Furna Feia para além dos limites da área de estudo.

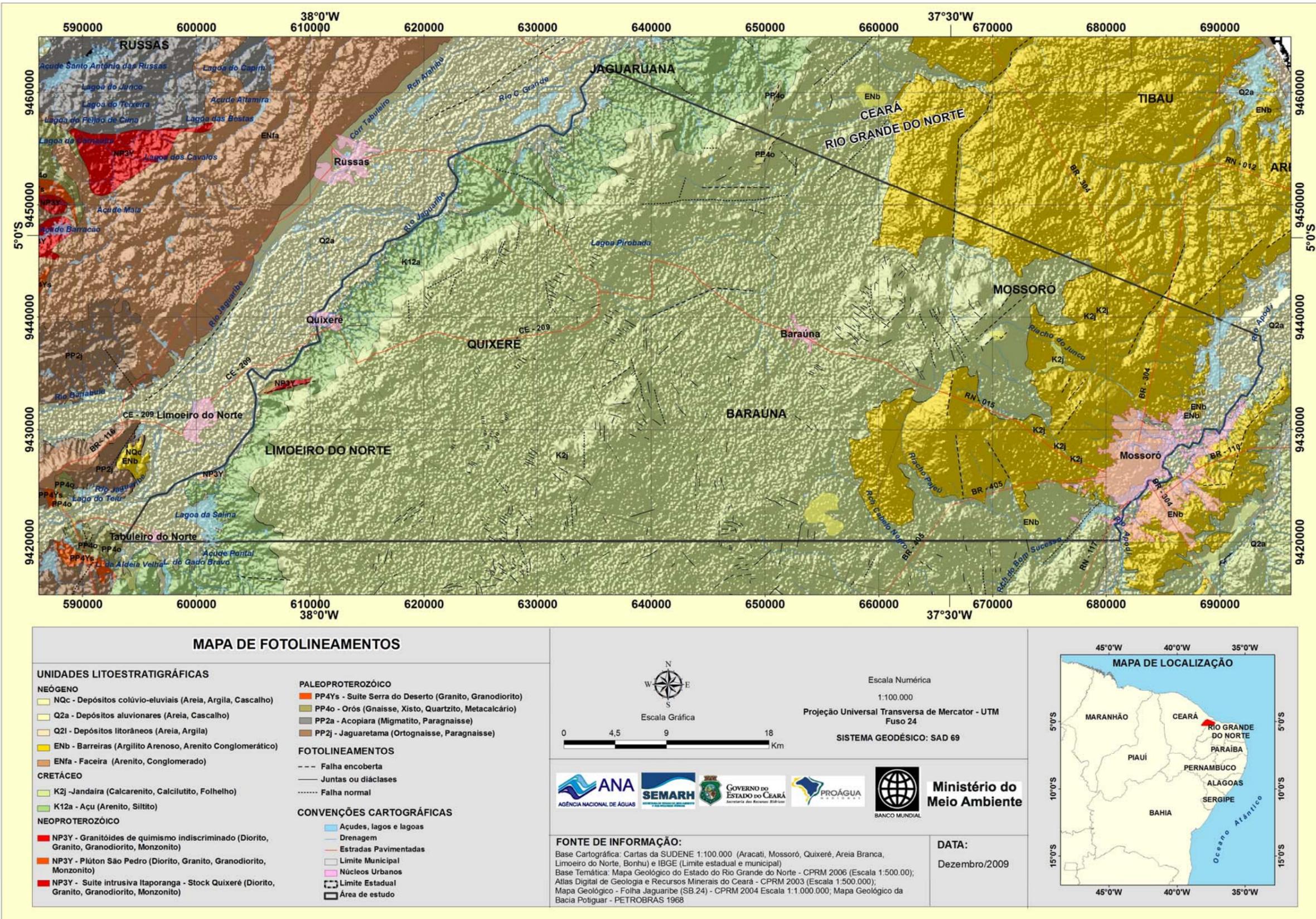


Figura 1.22 - Mapa dos fotolineamentos da área de estudo.

### 1.6.3.3 - Mapa de ocorrência de unidades aquíferas com estruturas cársticas e poços cadastrados

A **figura 1.23** constitui o mapa de ocorrência de unidades aquíferas com estruturas cársticas e poços cadastrados na área do projeto. Da referida figura e do mapa de estruturas e feições cársticas (**figura 1.13**) anteriormente descrito, pode-se concluir que o aquífero Jandaíra se constitui na única unidade aquífera com estruturas cársticas, na área de estudo. Tais estruturas, originadas por fenômenos de dissolução, se desenvolvem naturalmente a partir de zonas preferenciais de porosidade secundária mais elevada, criadas pela tectônica rúptil e que se constituem em vias facilitadoras do acesso e da circulação da água, nas rochas carbonáticas. Desse processo podem resultar espaços vazios de grandes dimensões, nos quais as águas subterrâneas são armazenadas em reservatórios que se comportam como verdadeiros depósitos de água superficial.

Na área de estudo, como exemplo de zonas preferenciais de desenvolvimento de estruturas cársticas, de dimensão regional, destaca-se em primeiro lugar, o extraordinário conjunto de dolinas da borda ocidental da Chapada do Apodi, com orientação NE-SW nos municípios de Quixeré e Limoeiro do Norte, responsável pela completa ausência de rede de drenagem de águas superficiais em todo o setor oeste-sudoeste da área do projeto.

Em segundo lugar, em número de estruturas, aparece o conjunto de sumidouros, também de orientação NE-SW, que se desenvolve na faixa que atravessa a fronteira estadual em ângulo agudo, com largura aproximada de 10 km, desde a região ao sul de Tiradentes 2, até o limite sul da área do projeto. Essa faixa encontra-se no bloco baixo da falha de Tiradentes (capítulo 4) e do ponto de vista hidrogeológico, constitui a zona mais importante para o aproveitamento de água subterrânea no aquífero Jandaíra.

Essas zonas são diferenciadas em termos de produção de água subterrânea, como é demonstrado pelas vazões dos poços produtores nelas existentes e podem ser encaradas como subunidades aquíferas dentro do aquífero Jandaíra.

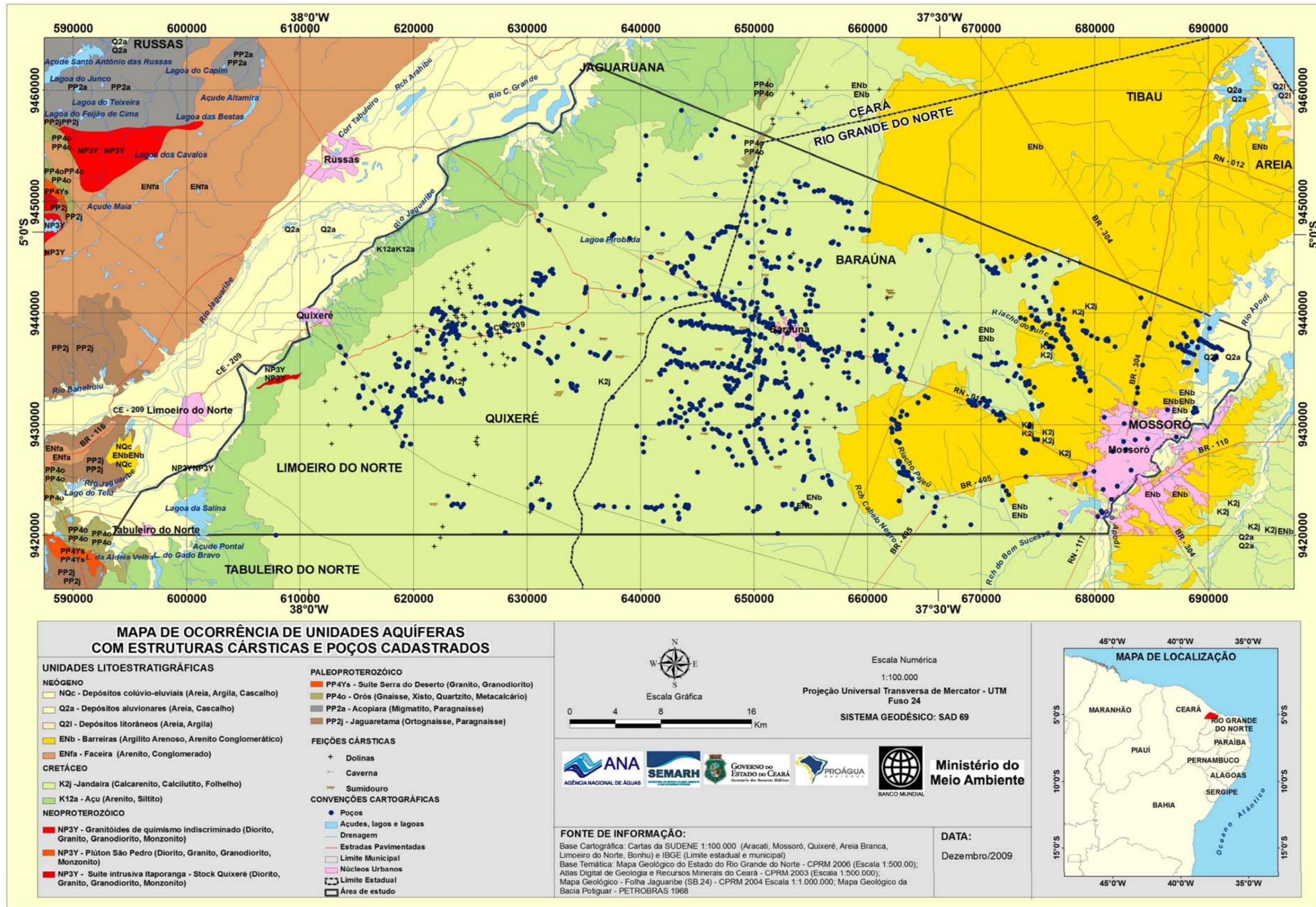


Figura 1.23 - Mapa de ocorrência de unidades aquíferas com estruturas cársticas e poços cadastrados na área de estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIHS, 1970. ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE. Alimentation artificielle des nappes souterraines. Inventaire international des installations existantes. Publication n° 87.
- Almeida, M. B. A.; Andrade, E. M.; Meireles, A. C. M. & Ness, R. L. L. 2005. Importância relativa dos íons na salinidade de um cambissolo na Chapada do Apodi, CE. Eng. Agríc., Jaboticabal, 25(3)615-621.
- Araújo Filho, J. C. 2000. Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco. Rio de Janeiro Embrapa Solos.
- CSBH, 2008. COMITÊ DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA BAIXO JAGUARIBE. Cenário atual dos recursos hídricos da sub-bacia do Baixo Jaguaribe. Disponível em <http://www.al.ce.gov.br/pactodasaguas/ver.php?codigo=104&campo=edita>. Acessado em 14 julho 2009.
- Bezerra, J. F. M. 2006. Solo substrato da vida. Brasília Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia.
- Bize, J.; Bourguet, L. & Lemoina, J. 1972. L'alimentation artificielle des nappes souterraines. Masson. Paris.
- Blaney, H. F. & Criddle, W. D. 1950. Determining water requirements in irrigated areas from climatological and irrigation data. U. S. Dept. Agr. Div. Irrigation and water Conserv. SCS TP-96.
- Bourguet, L. 1970. Inventaire international des aménagements d'alimentation artificielle. Dépouillement et synthèse des réponses. SPEPE., rapport Burgéap R. 55-E. 151.
- Braga, C. C. 2003. Tempo de resposta da vegetação às variabilidades sazonais da precipitação no Nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.11, n.1, p.149-157.
- Brasil. RADAM. 1981. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. SECRETARIA-GERAL. PROJETO RADAMBRASIL. Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro.
- Camargo, A. P. & Sentelhas, P.C. 1997. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, 5(1)89-97.
- Câmara, G.; Davis, C. & Monteiro, A. M. V. 2001 - Introdução à ciência da geoinformação. INPE São José dos Campos.
- Crósta, A. P. 1999. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas, SP Ed. IG/UNICAMP.
- Cunha, J. B. & Millo, J. L. 1984. Dados Climatológicos do Nordeste. Anexo IV - Dados de Evapotranspiração Média Diários. Versão Preliminar. SUDENE, Recife.

- Cypriano, J. L. & Nunes, A. B. 1968. Geologia da Bacia Potiguar. PETROBRAS. Região de Produção do Nordeste, Equipe TG-6. Mapeamento Geológico (escala 1:50.000).
- Dias, F. J. S. 2007. Hidrodinâmica das descargas fluviais para o estuário o rio Jaguaribe (CE). Dissertação de Mestrado. UFC. ICM. LABOMAR.
- EMBRAPA. 1971. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS. Mapa exploratório de Reconhecimento de Solos. Estado do Rio Grande do Norte. Disponível <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=rn>. Acessado em 4 jun 2009.
- EMBRAPA. 1973. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIAS 1973. Mapa exploratório de Reconhecimento de Solos. Estado do Ceará. Disponível em <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=rn>. Acessado em 4 jun 2009.
- EMBRAPA. Monitoramento por Satélite. Projeto Brasil em Relevo, 2005. In <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/>
- Fernandes, M. A. B.; Santiago, M. M. F.; Gomes, D. F.; Mendes Filho, J.; Frischkorn, H. & Lima, J. O. G. 2005. A Origem dos cloretos nas águas subterrâneas na Chapada do Apodi – Ceará. Revista Águas, v. 19, n. 1, p. 25-34.
- Florenzano, T. G. (org). 2008. *Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais*. Oficina de Textos. São Paulo. 318 p.
- Florenzano, T. C. 2002. *Imagens de Satélite para Estudos Ambientais*. São Paulo Oficina de Textos.
- FUNDAÇÃO IDEC 1998. Mercado de Terras Rurais de Baraúna. Rio Grande do Norte.
- Gaspar, J.; Manoel Filho, J.; Rebouças, A. C. & Anjos, N. F. R. 1967. Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe. Vol. 7. Hidrogeologia. SUDENE-ASMIC.
- GEDT. 2009. GRUPO ESPÍRITO DA TERRA. Geomorfologia de Áreas de Cavernas. Disponível em <http://www.espiritodaterra.com.br/get3.htm>. Acessado em 11 jun 2009.
- Guerra, A. J. T. & Botelho, R. G. M. 2003 -. Erosão dos solos. In CUNHA, Sandra Batista & GUERRA, Antônio José Teixeira (org), *Geomorfologia do Brasil*. 3° ed. Rio de Janeiro Bertrand Brasil. p.107 – 143.
- Hargreaves, G. H. 1956. Irrigation requirements based on climate data. Proc. Am. Soc. Civil Engrs., Journal Div. Irrigation and Drainage. **82**(IR3)1-10.
- IBAMA. 2008. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas (CECAV). Base de dados.
- IBGE. 2007. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2006. IBGE. Rio de Janeiro. 146p.

- IBGE. 2008. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Perfil dos Municípios Brasileiros Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/perfilmunic/2008/default.shtm>, acessado em fevereiro e março de 2009.
- IBGE. 2006. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Industrial Anual. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/empresas/defaultempresa2006.shtm>, acessado em fevereiro e março de 2009.
- IPECE. 2008. INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Perfil Básico Municipal – Aracati, Jaguaruana, Limoeiro do Norte e Quixeré. IPECE. Fortaleza.
- IPECE. 2005. INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Panorama Geral do Setor Mineral Cearense. Fortaleza.
- IPECE. 2006. INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ Anuário Estatístico do Ceará – Saneamento – Dados gerais de abastecimento de água - Ceará e Região Metropolitana de Fortaleza - 2005-2006. Disponível em <http://www.ipece.ce.gov.br/>, acessado em fevereiro e março de 2009.
- Koepfen, W. 1936. Das geographische System der Klimate (Handbuch der Klimatologie, Bd. 1, Teil C). Apud. Beck, C.; Grieser, J.; Kottek, M.; Rubel, F.; Rudolf, B. 2006. Characterizing Global Climate Change by Means of Köppen Climate Classification.
- MAMI. 1968. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA-MINISTÉRIO DO INTERIOR (SUDENE). Mapa Exploratório - Reconhecimento de Solos - Estado do Rio Grande do Norte. Rio de Janeiro.
- Manoel Filho, J. 1971. Inventário Hidrogeológico Básico do Nordeste. Folha 10, Jaguaribe, NE. SUDENE, DD, Série Hidrogeologia nº 30, Recife, PE.
- Manoel Filho, J. & Silva, J. C. 1999. Mapeamento dos Aquíferos nas Principais Bacias Hidrográficas Receptoras da Transposição das Águas do Rio São Francisco, na escala 1:500.000. Avaliação Quantitativa e Qualitativa. MIN. VBA CONSULTORES.
- MARA. 1992. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA Brasília (DF). Normais Climatológicas (1961-1990). Sec. Nac. Irrigação.
- Meireles, A. C. M.; Andrade, E. M.; Cruz, M. G. M. & Lemos Filho, L. C. A. 2003. Avaliação do impacto da fertirrigação em cambissolos na Chapada do Apodi-CE. Revista Ciência Agronômica **34**(2) 207-212.
- Novo, E. M. L. 2008. Sensoriamento remoto princípios e aplicações. 3. edição. São Paulo. Ed. Blucher, 2008. Revista e ampliada.
- Penman, H. L.; Angus, D. E. & van Bavel, C. H. N. 1967. Microclimatic factors affecting evaporation and transpiration. In Hagan, R.M.; Haise, H.H.; Edminster, T.W. (ed.) Irrigation of Agricultural Lands. Madison American Society Agronomy, p.483-505.

- SEDUC. 2009. SECRETARIA DE EDUCAÇÃO DO CEARÁ. Estatísticas da educação básica nos municípios do Ceará. Disponível em <http://www.crede10.seduc.ce.gov.br/>, acessado em fevereiro e março de 2009.
- SEEC.2006. SECRETARIA DE ESTADO DA EDUCAÇÃO E DA CULTURA DO RIO GRANDE DO NORTE CENSO 2006. Escolar dos municípios do Rio Grande do Norte em 2006. Disponível em <http://www.educacao.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/seec/aplicativos/enviados/matricula.asp>, acessado em fevereiro e março de 2009.
- SEMACE. 2004. SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Turismo – Litoral leste do Estado do Ceará Relatório Final 20pág. Disponível em [http://www.semace.ce.gov.br/programas/gerco/Turismo/2\\_DiagnosticoAracati.pdf](http://www.semace.ce.gov.br/programas/gerco/Turismo/2_DiagnosticoAracati.pdf), acessado em fevereiro e março de 2009.
- Silva, K. O.; Miranda, J. H.; Duarte, S. N.; Sergio N. & Folegatti, M. V. 2005. Análise de métodos de estimativa de evapotranspiração na otimização de sistemas de drenagem. Disponível em <http://www.agriambi.com.br>. Acessado em 14 jun. 2009.
- SUDENE. 1963. SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE Recife (PE). Normais Climatológicas da Área da SUDENE. Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura.
- SUS. 2009a. SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE. Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde. Disponível em <http://w3.datasus.gov.br/datasus/datasus.php?>
- SUS. 2009b. SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE. Cadernos de Saúde. Disponível em <http://w3.datasus.gov.br/datasus/datasus.php?>.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geograph. Rev. **38**55-94.

