



[www.editorainvivo.com](http://www.editorainvivo.com)

# **AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CRATEÚS-CE**

Autor: **DIEGO TEIXEIRA DE ARAÚJO**



**2024**



**DIEGO TEIXEIRA DE ARAÚJO**

**AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO  
AMBIENTAL/DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CRATEÚS-CE**

**FORTALEZA - CEARÁ**

**2024**

DIEGO TEIXEIRA DE ARAÚJO

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/DESERTIFICAÇÃO  
NO MUNICÍPIO DE CRATEÚS-CE

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

---

A658a Araújo, Diego Teixeira de.

Avaliação dos processos de degradação ambiental/desertificação no município de Crateús-CE [livro eletrônico]. / Diego Teixeira de Araújo. Fortaleza: Editora In Vivo, 2024.  
147 p.

Bibliografia.

ISBN: 978-65-87959-43-6

DOI: 10.47242/978-65-87959-43-6

1. Desertificação. 2. Degradação de vegetação. 3. Núcleos de desertificação. I. Título. II. Autor

---

CDD 900

Denise Marques Rodrigues – Bibliotecária – CRB-3/CE-001564/O

DIEGO TEIXEIRA DE ARAÚJO

AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/DESERTIFICAÇÃO  
NO MUNICÍPIO DE CRATEÚS-CE

## AGRADECIMENTOS

Depois de tão longa jornada, algumas poucas páginas de agradecimento me parecem por demais insuficientes para expressar tamanha gratidão que carrego no peito a uma diversidade de atores, que tornaram viável uma das mais audaciosas metas que já tracei em minha vida. Começo, pois, os agradecimentos desta obra, pedindo já de antemão, desculpas a um conjunto de pessoas que mereceriam referência direta deste tão importante tópico de uma tese de doutorado, e por alguma razão o tiveram.

Agradeço aos meus pais, Raimundo e Ineusi, pelo apoio incondicional durante toda a vida acadêmica; aos meus irmãos Pedro e Aline, pelo apoio, conselhos e revisões ortográficas e a todos os meus familiares, que ajudaram direta ou indiretamente no desenvolvimento desta pesquisa.

Aos meus orientadores Marcos e Vlândia, pela imensa honra que me foi dada em receber a orientação de pessoas tão dedicadas e tão humanas.

Aos professores e funcionários da UECE, da UFC e do IFCE.

Aos colegas que me acompanharam durante o desenvolvimento da pesquisa, em especial aos integrantes dos Laboratórios LAGEO e LAPED.

À empresa GaiaTech pelas imagens de Drone.

Enfim, agradeço à FUNCAP, pelo apoio financeiro.

“É preciso explicar por que o mundo de hoje, que é horrível, é apenas um momento do longo desenvolvimento histórico e que a esperança sempre foi uma das forças dominantes das revoluções e das insurreições. E eu ainda sinto a esperança como minha concepção de futuro”.

Jean Paul Sartre - prefácio de "Os condenados da terra", de Frantz Fanon (1968).

## RESUMO

O processo de desertificação pode ser entendido como “degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas” (BRASIL, 1998, p.13). No Brasil, a principal região que está sujeita a esse processo é o polígono semiárido que ocupa grande parte do Nordeste e norte de Minas Gerais. O estado do Ceará apresenta áreas nucleares com expressivo avanço desse processo, denominadas pelo Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca - PAE-CE, como ASDs (Áreas de Suscetibilidade à Desertificação) (CEARÁ, 2010). Em 2015, um dos núcleos foi redimensionado para uma área mais abrangente (FUNCEME e DNOCS, 2015), indicando uma tendência de expansão dos núcleos de desertificação e evidenciando a necessidade de melhor compreensão da relação das ASDs com as áreas de entorno. No intuito de fornecer contribuição para melhor compreensão dessas áreas, o presente estudo apresenta como objeto de investigação o município de Crateús – CE, pelo fato de este já apresentar níveis graves a muito graves quanto ao avanço da desertificação (CEARÁ, 2010), e estar situado em posição de fronteira com o núcleo já consolidado de desertificação do Sertão dos Inhamuns. Parte-se da hipótese de que a degradação ambiental/desertificação tem se ampliado no município de Crateús, em função do uso desordenado que vem ocorrendo no município e na ASD dos Inhamuns. A metodologia adotada consiste na utilização da análise ambiental integrada associada à análise de séries temporais de precipitação. Os resultados obtidos apontam que de fato houve um avanço da degradação ambiental/desertificação em Crateús durante o período analisado. A supressão da vegetação em Crateús e a ASD dos Inhamuns repercutiram diretamente nos mecanismos de *feedbacks* de desertificação associados à dinâmica hidroclimática regional.

**Palavras-chave:** Desertificação. Degradação da vegetação. Núcleos de desertificação. Crateús.



## ABSTRACT

The desertification process can be understood as "land degradation in arid, semi-arid and dry sub-humid areas, resulting from several factors, including climatic variations and human activities" (BRASIL, 1998, p.13). In Brazil, the main region that is exposed to this process is the drought polygon that covers a large part of the Northeast region and the north of Minas Gerais state. Ceará state presents core areas with expressive advancement of this process, denominated by the State Action Program to Combat Desertification and Mitigation of the Effects of Drought - PAE-CE, as ASDs (Areas of Susceptibility to Desertification) (Ceará 2010). In 2015, one of the nuclei was resized to a more extensive area (FUNCEME and DNOCS 2015), indicating a trend of expansion of the desertification nuclei, and highlighting the need for a better understanding about the relationship of ASDs with the surrounding areas. In order to provide a contribution for a better understanding of these areas, this study presents as object of investigation the behavior of the historical precipitation series of the municipality of Crateús - CE, since this municipality already presents serious to very serious levels concerning the advance of desertification (CEARÁ 2010), and for being in a border position with the already consolidated desertification nucleus of the Sertão dos Inhamuns. One starts from the hypothesis that environmental degradation/desertification has increased in the municipality of Crateús, due to the disorderly use that has been occurring in the municipality and in the Inhamuns ASD. The methodology applied consists of the use of integrated environmental analysis associated with the analysis of precipitation time series. The results obtained indicate that there was indeed an advance of environmental degradation/desertification in Crateús during the analyzed period. The suppression of vegetation in Crateús and the Inhamuns ASD reflected directly on the desertification feedback mechanisms associated with the regional hydroclimatic dynamics.

**Keywords:** Desertification. Degradation of vegetation. Desertification nuclei. Crateús.

<b>Figura 1 - Localização da área de estudos .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 2 - Distribuição geográfica das terras secas .....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 3 - Coeficiente de variação da precipitação global .....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 4 - Delimitação do Semiárido Brasileiro.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 5 - Fluxograma de degradação do meio ambiente por atividades humanas .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 6 - Cartograma de localização do município de Crateús .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 7 - Cartograma de localização de Crateús em relação à ASD dos Inhamuns ...</b>	<b>38</b>
<b>Figura 8 - Mapa geológico de Crateús .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 9 - Planície fluvial do rio Poti .....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 10 - Tabuleiros Interiores .....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 11 - Front da Cuesta da Ibiapaba.....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 12 - Depressão Sertaneja.....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 13 - Mapa de Geomorfologia de Crateús.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 14 - Mapa de declividade de Crateús.....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 15 - Histograma de precipitação do posto Crateús.....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 16 - Plotagem de todos os registros de precipitação da série histórica do posto Crateús.....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 17 - Médias de temperaturas mensais de Crateús .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 18 - Balanço hídrico anual do posto Crateús .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 19 - Médias de precipitação mensais de Tucuns .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 20 - Plotagem de todos os registros de precipitação da série histórica do posto Tucuns.....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 21 - Médias de temperaturas mensais de Tucuns (°C) .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 22 - Balanço hídrico anual do distrito de Tucuns.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 23 - Velocidade média e direção dos ventos da região de Crateús e entorno.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 24 - Mapa dos recursos hídricos superficiais de Crateús.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 25 - Distribuição espacial dos poços em Crateús .....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 26 - Neossolo Litólico.....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 27 - Mapa de solos de Crateús.....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 28 - Caatinga arbórea.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 29 - Mata ciliar conservada .....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 30 - Planície fluvial do rio Poti .....</b>	<b>71</b>

<b>Figura 31 - Mapa de Vegetação de Crateús</b> .....	<b>72</b>
<b>Figura 32 - Registro de um jacaré açu morto e mata de algaroba ao fundo</b> .....	<b>74</b>
<b>Figura 33 - Caatinga arbórea</b> .....	<b>77</b>
<b>Figura 34 - Mapa de geomorfologia de Crateús</b> .....	<b>85</b>
<b>Figura 35 - Mapa de densidade demográfica de Crateús</b> .....	<b>87</b>
<b>Figura 36 - Mapa da estrutura fundiária de Crateús</b> .....	<b>90</b>
<b>Figura 37 - Número de estabelecimentos agropecuários por grupos de área</b> .....	<b>91</b>
<b>Figura 38 - Distribuição espacial da pobreza</b> .....	<b>93</b>
<b>Figura 39 - Distribuição espacial de pessoas não alfabetizadas em Crateús</b> .....	<b>97</b>
<b>Figura 41- Toneladas de carvão retiradas por km<sup>2</sup></b> .....	<b>100</b>
<b>Figura 42 - Imagem de drone sobre área recém desmatada</b> .....	<b>101</b>
<b>Figura 43 - Porcentagem da área do município ocupada por lavouras permanentes</b> ....	<b>102</b>
<b>Figura 44 - Porcentagem do município com áreas plantadas de lavouras temporárias</b>	<b>102</b>
<b>Figura 45 - Densidade de bovinos por km<sup>2</sup></b> .....	<b>103</b>
<b>Figura 46 - Densidade de suínos por km<sup>2</sup></b> .....	<b>104</b>
<b>Figura 47 - Densidade de caprinos por km<sup>2</sup></b> .....	<b>104</b>
<b>Figura 48 - Densidade de ovinos por km<sup>2</sup></b> .....	<b>105</b>
<b>Figura 49 - Imagem de satélite de Crateús (1985)</b> .....	<b>107</b>
<b>Figura 50 - Imagem de satélite de Crateús (2019)</b> .....	<b>108</b>
<b>Figura 51 - Expansão da degradação entre 1985 (A) e 2019 (B) nas proximidades do distrito de Santo Antônio - Crateús</b> .....	<b>109</b>
<b>Figura 52 - Expansão da degradação entre 1985 (A) e 2019 (B) nas proximidades dos distritos de Santana, Montenebo e Lagoa das Pedras - Crateús</b> .....	<b>110</b>
<b>Figura 53 - Mapa de uso e cobertura de Crateús</b> .....	<b>114</b>
<b>Figura 54 - Pavimento desértico na depressão sertaneja nas proximidades da comunidade da Ibiapaba</b> .....	<b>117</b>
<b>Figura 55 - Voçoroca situada em uma mancha de argissolo da Depressão Sertaneja</b> ....	<b>118</b>
<b>Figura 56 - Afloramento de rochas exumadas em decorrência do desmatamento da vertente inclinada (Front) da cuesta da Ibiapaba</b> .....	<b>119</b>
<b>Figura 57 - Voçoroca com três metros de profundidade, próximo à comunidade Cabeça da Onça</b> .....	<b>120</b>
<b>Figura 58 - Mapa da espacialização das médias de precipitação</b> .....	<b>127</b>
<b>Figura 59 - Distribuição espacial da variabilidade da precipitação em Crateús</b> .....	<b>129</b>

**Figura 60 - Distribuição espacial da diminuição da precipitação em Crateús ..... 131**

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 - Síntese da compartimentação geoambiental das Planícies Ribeirinhas .....</b>	<b>75</b>
<b>Quadro 2 - Síntese da compartimentação geoambiental dos Tabuleiros Interiores.....</b>	<b>78</b>
<b>Quadro 3 - Síntese da compartimentação geoambiental dos Sertões de Crateús .....</b>	<b>80</b>
<b>Quadro 4 - Síntese da compartimentação geoambiental das Cristas residuais e Inselbergs .....</b>	<b>82</b>
<b>Quadro 5 - Síntese da compartimentação geoambiental do Planalto da Ibiapaba .....</b>	<b>84</b>
<b>Quadro 6 - Variáveis utilizadas para calcular as classes de densidade demográfica de Crateús .....</b>	<b>86</b>
<b>Quadro 7 - Variáveis utilizadas para as classes de vulnerabilidade econômica de Crateús .....</b>	<b>92</b>
<b>Quadro 8 - Variáveis utilizadas para calcular as classes de escolaridade de Crateús .....</b>	<b>96</b>
<b>Quadro 9 - Características das Classes Temáticas de uso e ocupação.....</b>	<b>111</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1- Índice de aridez .....</b>	<b>18</b>
<b>Tabela 2 - Estatísticas descritivas da pluviometria do posto 42 localizado na sede de Crateús .....</b>	<b>122</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2</b>	<b>ASPECTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS</b> .....	18
<b>2.1</b>	<b>O Fenômeno da desertificação</b> .....	18
2.1.1	Condicionantes naturais e áreas sujeitas à desertificação .....	19
2.1.2	Atividades humanas como motores da desertificação.....	24
<b>2.2</b>	<b>Procedimentos Metodológicos e Operacionais</b> .....	27
2.2.1	Diagnósticos Geoambiental e Socioeconômico .....	28
2.2.2	Análise da dinâmica espaçotemporal da vegetação, do atual estado de uso e cobertura e implicações nos feedbacks de desertificação ligados à dinâmica hidroclimática.....	31
2.2.3	Análise das séries temporais de precipitação .....	32
2.2.4	Operacionalização Técnica .....	35
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE CRATEÚS</b> .	37
<b>3.1</b>	<b>Bases Geológicas e Geomorfológicas</b> .....	38
3.1.1	Planícies Fluviais .....	41
3.1.2	Tabuleiros Interiores .....	42
3.1.3	Planalto da Ibiapaba.....	43
3.1.4	Depressão Sertaneja .....	44
3.1.5	Cristas residuais e Inselbergs .....	46
<b>3.2</b>	<b>Condições climáticas e hidrográficas</b> .....	49
3.2.1	Dinâmica pluviométrica e balanço hídrico .....	50
3.2.2	Possível influência do Cânion do Rio Poti no clima do município .....	57
<b>3.3</b>	<b>Solos e cobertura vegetal</b> .....	63
<b>4</b>	<b>COMPARTIMENTAÇÃO DOS SISTEMAS AMBIENTAIS E DINÂMICA NATURAL</b> .....	73
<b>4.1</b>	<b>Planícies Ribeirinhas</b> .....	73
<b>4.2</b>	<b>Tabuleiros Interiores</b> .....	76
<b>4.3</b>	<b>Sertões de Crateús</b> .....	79
<b>4.4</b>	<b>Cristas Residuais e Inselbergs</b> .....	81
<b>4.5</b>	<b>Planalto da Ibiapaba</b> .....	83
<b>5</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA DE CRATEÚS</b> .....	86
<b>5.1</b>	<b>Fatores sociais condicionantes do processo de desertificação</b> .....	86

5.1.1	Densidade demográfica.....	86
5.1.2	Concentração fundiária .....	89
5.1.3	Pobreza.....	92
5.1.4	Educação .....	95
<b>5.2</b>	<b>Indicadores de pressão .....</b>	<b>98</b>
5.2.1	Extrativismo Vegetal .....	99
5.2.2	Agricultura .....	101
5.2.3	Pecuária.....	103
<b>6</b>	<b>DINÂMICA ESPAÇOTEMPORAL DA VEGETAÇÃO E ATUAL ESTADO DE USO E COBERTURA .....</b>	<b>106</b>
<b>6.1</b>	<b>Análise comparativa da cobertura vegetal entre 1985 e 2019.....</b>	<b>106</b>
<b>6.2</b>	<b>Uso e cobertura .....</b>	<b>111</b>
<b>7</b>	<b>DINÂMICA ESPAÇO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO EM CRATEÚS ..</b>	<b>122</b>
<b>7.1</b>	<b>Dinâmica temporal da pluviometria entre 1974 e 2019.....</b>	<b>122</b>
7.1.1	Estatísticas descritivas.....	122
7.1.2	Resultado da Regressão .....	123
<b>7.2</b>	<b>Análise espaçotemporal da pluviometria entre 2001 e 2019 .....</b>	<b>125</b>
7.2.1	Espacialização das médias de precipitação.....	125
7.2.2	Variabilidade da precipitação .....	128
7.2.3	Tendência da precipitação .....	130
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>134</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>137</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O processo de desertificação pode ser entendido como “degradação da terra nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas” (BRASIL, 1998, p.13).

Como o próprio conceito sugere, existem regiões específicas do globo que estão sujeitas a esse processo. Essas áreas são determinadas através do índice de aridez (IA) - a razão entre a quantidade média de precipitação anual (P) e a quantidade de evapotranspiração potencial.

No Brasil, a principal região que está sujeita a esse processo é o polígono semiárido que ocupa grande parte do Nordeste e norte de Minas Gerais. Dado o uso intenso e desordenado dos recursos naturais dessa região, já existe uma considerável quantidade de núcleos onde o processo de desertificação apresenta os padrões mais preocupantes, e dezenas de municípios que apresentam uma situação bastante avançada desse processo.

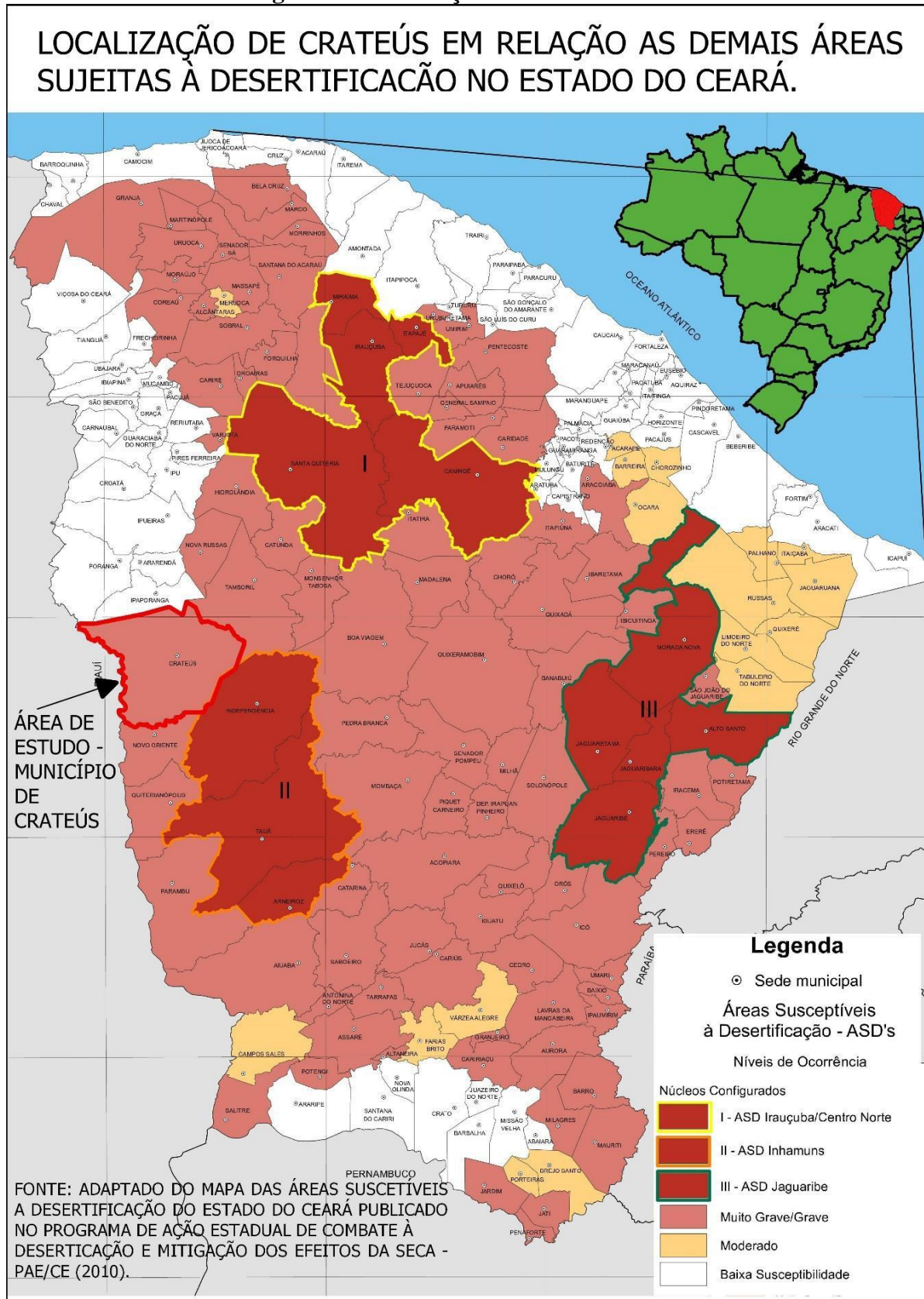
No estado do Ceará, o Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca - PAE-CE delimitou, formalmente, três núcleos de desertificação presentes no estado: ASD (Área de Suscetibilidade à Desertificação) de Irauçuba e Centro Norte, ASD dos Inhamuns e ASD do Médio Jaguaribe (CEARÁ, 2010). No entanto, em estudo mais recente, o núcleo de Irauçuba e Centro Norte foi redimensionado, passando a englobar em seu polígono o município de Sobral (FUNCEME e DNOCS, 2015).

Tal fato alerta para o perigo do já iniciado processo de avanço dos núcleos de desertificação, que tendem a se expandir entre os municípios do seu entorno que apresentem degradação dos recursos naturais equalizada a fragilidades a esse processo.

Nesse contexto, surge a necessidade de melhor compreensão da dinâmica ambiental das áreas situadas no entorno dos núcleos. Análises que forneçam fragilidades, potencialidades, diagnósticos do estado dos recursos naturais, bem como dos componentes socioeconômicos são de fundamental importância para subsidiar a melhor gestão destas áreas e para contenção do alastramento dos processos de desertificação em seus níveis mais agudos.

No intuito de fornecer contribuição para melhor compreensão dessas áreas, o presente estudo delineou-se a partir do estudo da dinâmica de desertificação no município de Crateús – Ceará. A escolha desse recorte de estudo se deu pelo fato do município se caracterizar como um dos que apresentam níveis graves a muito graves quanto ao avanço da desertificação (CEARÁ, 2010), apresentando ainda uma posição de fronteira com o núcleo já consolidado de desertificação do Sertão dos Inhamuns (Figura 1).

**Figura 1 - Localização da área de estudos**



Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Ceará, (2010)

Levando em consideração que a direção predominante dos ventos da região se dá na direção sudeste para noroeste e que este município se situa na porção noroeste do núcleo dos Inhamuns, o presente estudo parte da hipótese de que a degradação ambiental/desertificação tem se ampliado no município de Crateús em função do uso desordenado que vem ocorrendo no município e na ASD dos Inhamuns.

No propósito de confirmar ou refutar essa hipótese, estabeleceu-se como objetivo geral: avaliar os processos de degradação ambiental/desertificação no município de Crateús.

No intuito de alcançar o objetivo geral proposto, estabeleceram-se os seguintes objetivos específicos: realizar uma contextualização geoambiental dos atributos setoriais e suas repercussões para a desertificação; elaborar a compartimentação dos sistemas ambientais e estabelecer um diagnóstico ambiental para cada sistema; analisar os padrões de paisagem resultantes do processo de uso e ocupação; avaliar a variabilidade e as perdas de precipitação ao longo das últimas décadas; e elaborar um prognóstico do avanço das perdas de precipitação para próxima década no município de Crateús.

## 2 ASPECTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS

### 2.1 O Fenômeno da desertificação

Em função da natureza complexa do processo de desertificação, existem diversas formas de se conceituar esse processo. Para fins metodológicos, o presente trabalho utiliza-se da definição elaborada pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África<sup>1</sup>. Para ela, o processo de desertificação caracteriza-se pela “degradação da terra nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas” (BRASIL, 1998, p.13).

Brasil (1998) destaca que:

Por degradação da terra entende-se a redução ou perda nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, da produtividade biológica ou econômica e da produtividade das terras agrícolas irrigadas, das pastagens naturais, das pastagens semeadas, das passagens, das florestas, e das matas nativas devido aos sistemas de utilização da terra ou a processos ou combinação de processos, incluindo os que resultam da atividade do homem e das suas formas de ocupação do território, tais como:

*I. a erosão do solo causado pelo vento e/ou pela água;*

*II. a deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas ou econômicas do solo, e;*

*III. a destruição da vegetação por períodos prolongados.* (BRASIL, 1998, p.14)

A partir desse conceito fica bastante evidente que a problemática da desertificação perpassa por alterações que podem ocorrer em diversas esferas do ambiente. No entanto, o componente climático é decisivo na delimitação das áreas sujeitas a esse processo, sendo o índice de aridez o componente climático que é atrelado à possibilidade de ocorrência ou não deste processo (BRASIL, 1998).

A definição de aridez climática utilizada no Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAE-CE) foi desenvolvida a partir da metodologia de Thornthwaite (ver

**Tabela 1).** O cálculo deriva da quantidade de pluviometria (P) e da perda máxima possível de água por evaporação e transpiração (ETP) ou evapotranspiração potencial, estabelecendo-se as seguintes classes climáticas (CEARÁ 2010).

#### Tabela 1- Índice de aridez

<sup>1</sup> A escolha dessa definição se deu pelo fato de ela abranger de forma bastante satisfatória o processo de desertificação, além de ser a definição consagrada mundialmente e oficialmente recomendada pela Organização das Nações Unidas (ONU).

Índice de aridez	
Hiper-árido	<0,05
Árido	0,05–0,20
Semiárido	0,21 – 0,50
midio Seco	0,51 – 0,65
Subúmido Úmido	>0,65

Fonte: Ceará, (2010)

Desse modo, apenas as áreas com índice de aridez inferior a 0,65 não estão suscetíveis ao processo de desertificação. Considerando que as áreas hiperáridas, onde o índice de aridez é inferior a 0,05 são incluídas nas terras secas, mas são excluídas da definição de desertificação, são compreendidas como áreas suscetíveis a esse processo as que apresentam índice de aridez entre 0,65 e 0,05, com exceção de áreas polares (BRASIL, 1998).

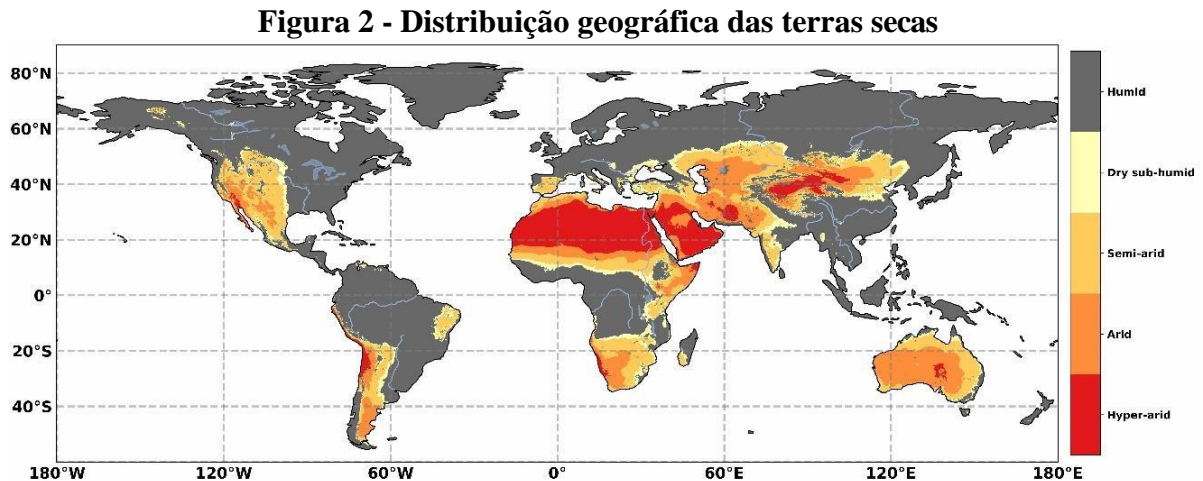
Apesar do fenômeno da desertificação estar atrelado a regiões específicas do globo, os impactos desse processo possuem dimensões globais. As chamadas terras secas (terras que possuem um índice de aridez inferior a 0,65) se estendem por porções do globo correspondentes a 47% das terras emersas do planeta, sendo habitadas por quase 2,6 bilhões de pessoas e, apesar da má disponibilidade de recursos hídricos, abriga mais de 43% da área global de terras agrícolas (Michael *et al.*, 2018).

Além da grande abrangência espacial destas áreas que ocupam parcela considerável do território global, as terras secas também abrigam importante patrimônio genético da humanidade, possuindo importante diversidade de sua flora, incluindo os antecessores genéticos de vários dos cereais básicos da humanidade, como trigo, cevada, sorgo e milho. Contêm elas, indubitavelmente, outras plantas com potencial de domesticação (HARE *et al.*, 1992).

### 2.1.1 Condicionantes naturais e áreas sujeitas à desertificação

De modo geral, os processos de formação das chamadas terras secas seguem uma lógica que, em primeira instância, é comandada por dinâmicas naturais. Nesse sentido, os seguintes fatores climáticos naturais são responsáveis pela inibição de chuvas e consequente formação de áreas áridas: 1. Áreas situadas sob os cinturões de anticiclones subtropicais (em ambos os hemisférios); 2. Áreas sob o efeito de continentalidade; 3. Fachadas ocidentais das latitudes tropicais dos continentes, banhadas por correntes frias; e 4. Posições de sotavento (CONTI, 1995).

Dessa forma, o padrão espacial da distribuição das terras secas (Figura 2) é visivelmente condicionado pelas áreas de atuação dos mecanismos responsáveis pela inibição da precipitação.



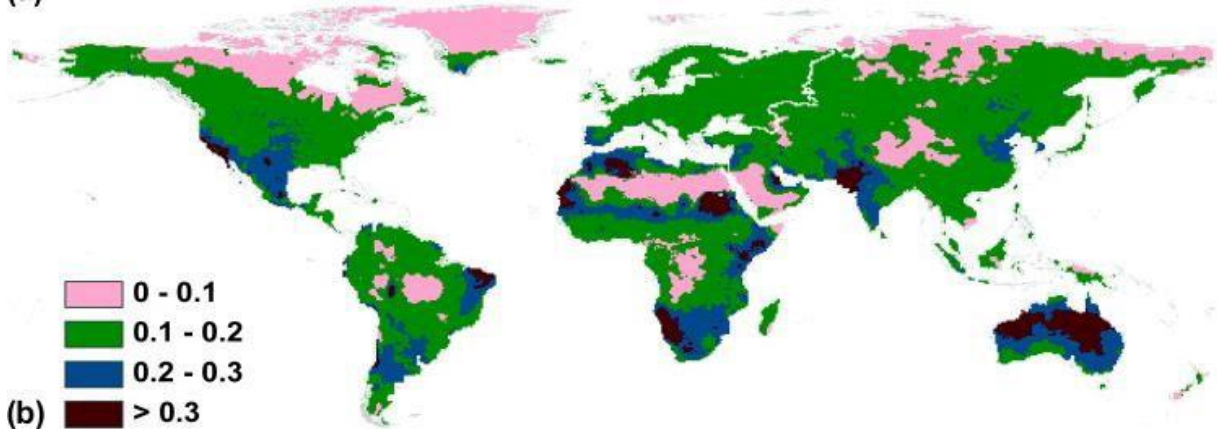
Fonte: Shukla Et al., (2019).

No mapa, é possível observar que, globalmente, as regiões onde atuam os cinturões de anticlones (latitudes médias) são onde preponderam as terras secas, formando uma concentração dessas áreas entre as latitudes de 20 e 40 graus tanto a norte como a sul. Outro fator inibidor da precipitação que se mostra expressivo em escala global é a atuação de correntes frias nas faixas ocidentais dos continentes, formando áreas hiperáridas no sudoeste da África (por influência da corrente de Benguela), no leste da América do Sul (corrente do Peru) e no sudeste da América do Norte (corrente da Califórnia).

Os climas secos também apresentam como característica marcante uma forte variabilidade sazonal e interanual. A variabilidade sazonal está tipicamente associada à presença de estações secas e chuvosas distintas, com a maioria das precipitações caindo em alguns meses úmidos seguidos por uma estação sem chuva<sup>2</sup>. A variabilidade interanual da precipitação é uma característica recorrente das terras secas, sendo particularmente forte nas regiões áridas. Observando o mapa global do coeficiente de variação no globo (Figura 3), é possível observar que as áreas com maior variabilidade interanual de precipitação são terras secas ou margens desérticas. Já no centro dos grandes desertos, a variabilidade da precipitação é muito baixa em decorrência das condições permanentes de alta pressão (DORICO et al., 2013).

<sup>2</sup> Esta sequência de estações secas e chuvosas é particularmente aparente em terras secas tropicais (como o que ocorre no Semiárido Brasileiro), onde a ocorrência de chuvas está associada a um deslocamento sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) do equador para os trópicos (DORICO et al., 2013).

**Figura 3 - Coeficiente de variação da precipitação global**



Fonte: DORICO et al., 2013

Dentro de uma escala de análise global a região do semiárido brasileiro ganha destaque em função de sua ocorrência azonal. Situado em uma região de baixas latitudes e sem a presença de uma corrente fria banhando suas águas, a presença de uma zona semiárida no Nordeste do Brasil é compreendida por Ab'Saber (1977) como zona de exceção.

Os condicionantes climáticos que justificam a ocorrência do semiárido brasileiro ainda são objeto de discussão acadêmica. Contudo, o estado da arte do conhecimento do assunto indica não uma única causa e sim uma confluência de fatores (NIMER, 1972; CONTI, 1991; CONTI, 1995; CAVALCANTI et al, 2009).

O primeiro fator a ser considerado é que, apesar de possuir um litoral banhado por águas quentes, parte do litoral nordestino está situada no final do percurso de uma corrente fria que vem do sul da África. Esta corrente fria (Benguela) afeta, primeiramente, as costas da República Sul-Africana, da Namíbia e de Angola e, em seguida, as ilhas oceânicas, indo terminar nos litorais dos estados brasileiros Rio Grande do Norte e Ceará (CONTI, 1995). As temperaturas da superfície do mar, sendo mais baixas, transferem menor volume de energia para a atmosfera, reduzindo, por consequência, a altura do nível da inversão térmica e, portanto, da camada úmida (CONTI, 1991).

Outro condicionante que atua na formação do Semiárido Brasileiro é o descrito por Nimer (1972), ao explicar que essa quantidade de precipitações se vincula ao fato da região Nordeste ser terminal de quatro fluxos das correntes atmosféricas: do Norte, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); do Sul, as Frentes Frias; do Oeste, as Linhas de Instabilidades; e do Leste, Distúrbios Ondulatórios de Leste (CAVALCANTI et al, 2009).

O terceiro fator a se levar em conta é o elevado índice de radiação que as áreas tropicais recebem, sendo bastante superior às demais áreas do globo. Conforme Conti (1995), até 20° de latitude, o volume de água evaporada se aproxima em ser dez vezes superior à

verificada nas latitudes médias, o que intervém diretamente no balanço hídrico, elevando o índice de evapotranspiração e, portanto, o índice de aridez.

A confluência de fatores inibidores de precipitação e uma elevada evapotranspiração potencial formou uma área, que de acordo com a última delimitação oficial realizada em 2017, é composta por 1.262 municípios (Figura 3), situados nos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais (SUDENE, 2022); abrigando 26.061.164 habitantes de acordo com as informações do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010).



Figura 4 - Delimitação do Semiárido Brasileiro



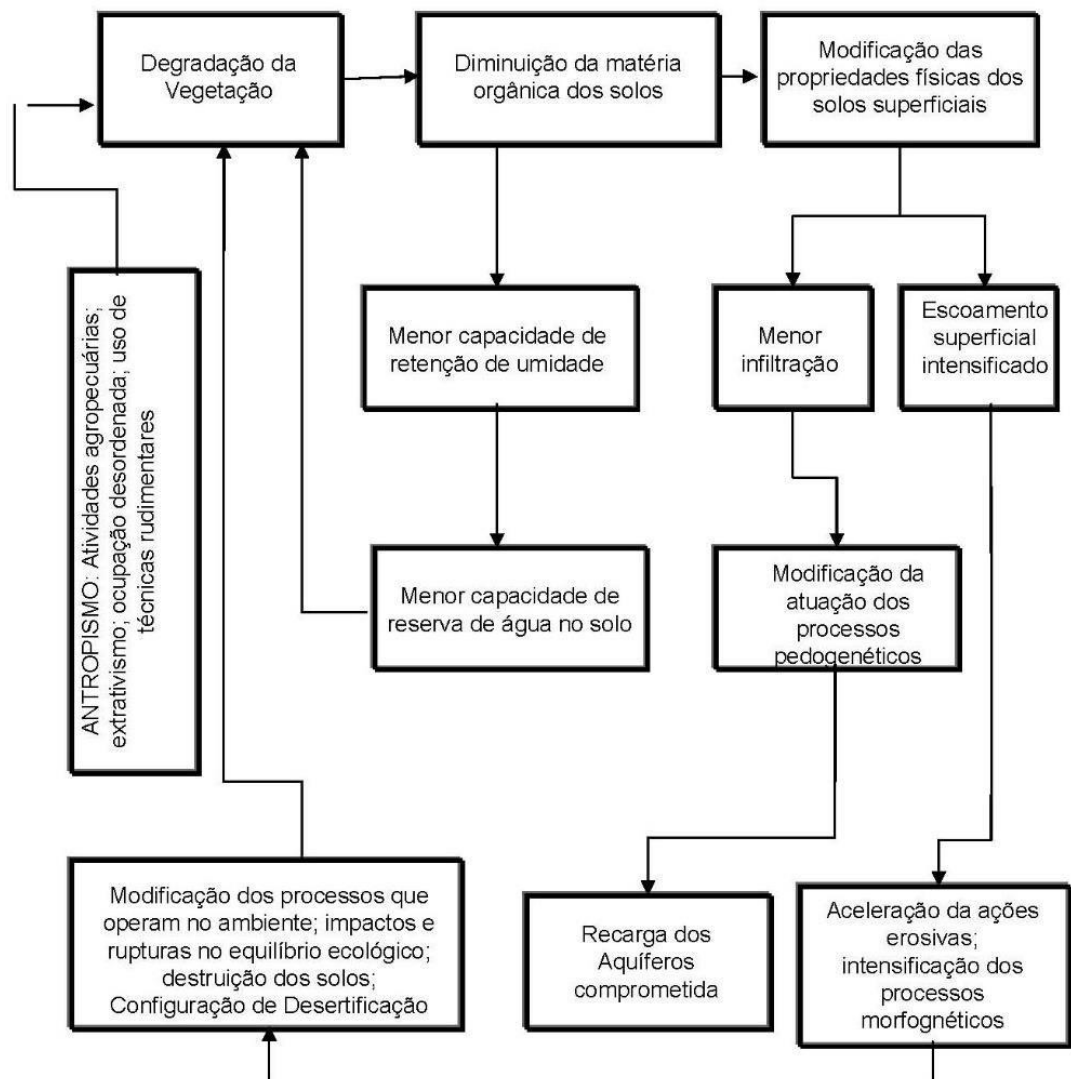
Fonte: SUDENE (2022).

### 2.1.2 Atividades humanas como motores da desertificação

Os processos de degradação em diferentes níveis e, até mesmo em condições irreversíveis, são derivações de uma ocupação humana inadequada (SOUZA, 2000). Tais atividades geram, por consequência, uma ruptura do equilíbrio ambiental, uma vez que interferem no que Tricart (1977) chamou de fitoestabilização do ambiente.

Na Figura 5 é possível verificar o sistema de degradação do ambiente onde Souza (2000), tomando como base Tricart (1977), e fazendo as devidas adaptações às condições do semiárido, demonstra os processos retroalimentativos que ocorrem no processo de degradação ambiental.

**Figura 5 - Fluxograma de degradação do meio ambiente por atividades humanas**



Fonte: (SOUZA 2000) adaptado de (TRICART 1977).

Nesse sentido, uma perturbação inicial no meio ambiente que gere degradação ambiental não se encerra em si, podendo ecoar em diversos níveis de retroalimentação negativa ao meio ambiente. Tais processos, em diversos casos, são capazes de modificar, além da estrutura, a própria dinâmica do ambiente. Um ambiente em condições de estabilidade (com a predominância de pedogênese sobre a morfogênese) pode evoluir para um ambiente fortemente instável onde há uma certa mudança do sistema morfo genético (SOUZA, 2000).

O fluxograma dos processos de degradação ambiental do meio (Figura 5) sintetiza os mecanismos de *feedbacks* que ocorrem em nível de superfície. Contudo, existem também importantes *feedbacks* que se dão na mediação entre superfície e atmosfera, exercidos principalmente pela vegetação.

De acordo com Dorico et al. (2013), são três os mecanismos principais de *feedback* entre a vegetação e a precipitação. Esses mecanismos estão associados a mudanças na reciclagem de precipitação (ELTAHIR e BRAS, 1996), ao balanço de energia de superfície (CHARNEY, 1975; SHUKLA e MINTZ, 1982; WANG e ELTAHIR, 2000; XUE, LIOU e KASAHARA, 1990) e a emissões de poeira em paisagens áridas (NICHOLSON, 2000; ROSENFELD, RUDICH e LAHAV, 2001).

A reciclagem da precipitação pode ser definida como a parcela da precipitação que em uma determinada região proveniente da contribuição da umidade decorrente da evapotranspiração regional (ELTAHIR e BRAS, 1996). Assim, entende-se que uma diminuição na evapotranspiração induzida pela perda de vegetação cause uma diminuição na reciclagem da precipitação podendo esse efeito levar a um *feedback* positivo da desertificação se a reciclagem da precipitação for uma fração substancial da precipitação total (DORICO et al., 2013).

Vários estudos foram realizados no intuito de quantificar qual a parcela da precipitação é proveniente da reciclagem da precipitação. Para isso foram usadas uma variedade de técnicas, incluindo balanços hídricos regionais, algoritmos de trajetória inversa e geoquímica de isótopos (SALATI, et al., 1979; NIETO, GIMENO e TRIGO, 2006; DIRMEYER e BRUBAKER, 2007; VAN DER ENT, 2010; ZHAO et al., 2019; JUAN et al., 2022). Essas análises mostraram que a reciclagem é responsável por faixa de 10 a 35% da precipitação local, variando de acordo com as características da região e sua extensão territorial. Em estudo recente realizado por Juan et al (2022), foi constatado que 63,3% do total da precipitação reciclada foi proveniente do processo de transpiração, fato que demonstra o importante papel da vegetação para a reciclagem da precipitação.

O segundo tipo de *feedback* é devido à capacidade da cobertura vegetal de modificar alguns atributos da superfície que são cruciais para determinar a taxa dos fluxos de energia da superfície (DORICO et al, 2013). Dois importantes atributos são: albedo e rugosidade da superfície.

Charney (1975) constatou que a remoção da vegetação nas margens do deserto causa um aumento no albedo da superfície da terra, que, por sua vez, pode determinar o resfriamento da superfície, causando subsidência atmosférica e uma diminuição na precipitação convectiva. Esse *feedback* de albedo está associado à expansão dos principais desertos subtropicais do mundo, como o Saara, o Kalahari, o Gobi e o Great Sandy Desert (ZENG e YOON, 2009). *Feedbacks* de albedo semelhantes também foram encontrados em estudos regionais em diversas regiões do globo, como Oriente Médio (ZAITCHIK et al. 2007), Austrália (EVANS et al. 2017; MENG et al. 2014a, b), América do Sul (LEE e BERBERY 2012) e EUA (ZAITCHIK et al. 2013).

O *feedback* da rugosidade-precipitação foi investigado principalmente com simulações de modelos, que mostraram como a diminuição da rugosidade associada à remoção da vegetação pode causar uma diminuição na convergência da umidade, conduzindo a uma redução da precipitação (SUD, SHUKLA e MINTZ, 1988). Estudos apontam que em alguns casos, o *feedback* pode ser forte o suficiente para induzir o surgimento de estados estáveis alternativos na dinâmica de acoplamento vegetação-clima (por exemplo: WANG e ELTAHIR, 2000 a e b; ZENG E NEELIN 2000), sugerindo que essas regiões são propensas a sofrerem mudanças abruptas e possivelmente irreversíveis para um estado desertificado (DORICO et al, 2013).

O terceiro tipo de *feedback* terra-atmosfera envolve o aumento das emissões de poeira causadas pela retirada da vegetação. Esses aerossóis de areia e poeira impactam o clima regional de várias maneiras (Choobari et al. 2014). O efeito direto se dá no âmbito do balanço de radiação atmosférico, uma vez que os aerossóis interferem na interceptação, reflexão e absorção da radiação solar na atmosfera, reduzindo a energia disponível na superfície terrestre e aumentando a temperatura da atmosfera em camadas com presença de areia e poeira (Kaufman et al. 2002; Middleton 2017; Kok et al. 2018).

O aquecimento da camada de poeira também pode alterar a umidade relativa e a estabilidade atmosférica, o que pode alterar a vida útil das nuvens e o teor de água. Esse efeito foi classificado por Huang et al. (2017) como semidireto.

Os aerossóis possuem ainda um efeito indireto no clima através de seu papel como núcleos de condensação das nuvens. Um excesso na disponibilidade de núcleos pode

causar uma condensação muito ineficiente, o que leva à formação de gotículas de nuvem muito pequenas para precipitar. Assim, as nuvens persistem por mais tempo. Esse aumento na nebulosidade contribui ainda mais para o resfriamento da superfície, que, por sua vez, aumenta a subsidência (primeiro forçamento radiativo indireto); além disso, a nucleação ineficiente suprime a precipitação (segundo efeito indireto) (DORICO et al., 2013).

## 2.2 Procedimentos Metodológicos e Operacionais

O presente estudo possui como alicerce metodológico a Análise Ambiental Integrada (AAI). Esta, grosso modo, pode ser entendida como um grupo de metodologias de pesquisa que visam o estudo do meio de maneira integrada e costumam ser utilizadas isoladamente ou combinadas a fim de se desenvolver estudos ambientais de natureza complexa.

Dada a disponibilidade de excelentes revisões realizadas sobre essa abordagem<sup>3</sup>, não se pretende aqui trazer uma detalhada discussão epistemológica sobre a evolução da AAI, bastante presente em estudo de natureza integrada da paisagem. Visa-se, deste modo, estabelecer com clareza e objetividade o delineamento metodológico utilizado para se chegar aos resultados pretendidos.

A presente investigação possui como alicerce teórico a Teoria Geossistêmica (BERTRAND, 1972; SOTCHAVA, 1977, 1978) e a Ecodinâmica (TRICART, 1977). Nesse sentido, os autores clássicos supracitados fundamentam o arcabouço conceitual básico que delineiam a linha mestre de desenvolvimento desta pesquisa como o estabelecimento de unidades geográficas de análise, estudo integrado dos componentes e da dinâmica da paisagem, ao passo que autores mais modernos (SOUZA, 2000; SOUZA *et. al.* 2006; SOUZA e OLIVEIRA, 2002, 2011; OLIVEIRA, 2011) fundamentam o conjunto de procedimentos que possibilitaram a execução prática do presente estudo.

A pesquisa foi dividida em três etapas básicas. A primeira foi a etapa de diagnóstico geoambiental e socioeconômico, por meio da qual realizaram-se a caracterização geoambiental, a compartimentação e a análise dos sistemas ambientais; também foram analisados aspectos sociais, econômicos e da organização do espaço, ligados direta ou indiretamente ao processo de desertificação. A segunda etapa foi a de análise da dinâmica espaçotemporal da vegetação, do atual estado de uso e cobertura e implicações nos *feedbacks*

---

<sup>3</sup> Por exemplo: Ross (2009) e Christofolletti (1999).

de desertificação ligados à dinâmica hidroclimática. A terceira etapa foi a análise dos padrões espaço temporais de precipitação, através da espacialização de três variáveis: média, coeficiente de variação e coeficiente angular da série histórica de precipitação (analisado como indicativo da taxa de diminuição ou aumento da precipitação no período adotado). Por fim, buscou-se delinear possíveis inferências acerca da dinâmica de acoplamento entre superfície e atmosfera no município de Crateús e verificar a relação da degradação em superfície com a diminuição das chuvas nas séries históricas de precipitação.

### 2.2.1 Diagnósticos Geoambiental e Socioeconômico

A avaliação dos processos de degradação ambiental/desertificação no município de Crateús teve como ponto de partida os diagnósticos geoambiental e socioeconômico, em que foram caracterizadas as condições físico-ambientais e bioecológicas gerais associadas às condições socioeconômicas de apropriação do espaço, de onde derivam importantes vetores de avanço da desertificação.

Para execução do diagnóstico geoambiental, primeiramente foi realizada uma análise sobre cada componente ou atributo natural. Desse modo, a caracterização dos atributos geoambientais atendeu aos requisitos descritos a seguir: condições geológicas; análise geomorfológica; análise climática; análise hidrológica ou dos recursos hídricos; e estudo dos solos e da vegetação. As análises setoriais serviram de meios para melhor compreensão dos condicionantes ambientais ligados à suscetibilidade à desertificação, ao passo que a integração destes serviu de meio para a adoção de procedimentos que conduziram a delimitação dos sistemas ambientais em consonância com pressupostos metodológicos integrativos capazes de apreender as relações de interdependência dos componentes físicos bióticos e socioeconômicos (FUNCEME e DNOCS, 2015).

A delimitação dos sistemas ambientais teve o critério geomorfológico como referência de síntese do contexto geoambiental, de forma que a compartimentação dos sistemas se deu a partir da delimitação das feições morfoesculturais. A denominação dos sistemas também se baseou nos topônimos do relevo que foram associados a nomenclaturas regionais (SOUZA, 2000 e 2007).

A utilização da compartimentação geomorfológica como critério de síntese para delimitação dos sistemas se justifica em função desta se constituir como parte de uma herança evolutiva natural quaternária. Desse modo, cada compartimento tem características próprias

de drenagem superficial, de disposição de solos e padrões fisionômicos da vegetação. O uso e a ocupação da terra também têm características muito específicas (SOUZA, 2000, 2007 e 2015).

A caracterização dos sistemas ambientais foi feita de modo a realizar uma síntese das características ambientais de cada sistema, sendo também organizados quadros sinópticos para cada compartimento. Dentro de cada quadro foi realizada uma breve caracterização dos componentes naturais, sendo indicadas as principais potencialidades, limitações, a ecodinâmica, e os riscos de ocupação.

As potencialidades são entendidas como atividades ou condições que têm exequibilidades de serem praticadas em cada sistema ambiental, sendo propícias à instalação de infraestruturas ou de atividades econômicas propriamente ditas (Oliveira, 2011).

As limitações são referentes ao uso produtivo, sendo identificadas com base nas vulnerabilidades, nas deficiências do potencial produtivo dos recursos naturais e no estado de conservação da natureza, em função dos impactos produzidos pela ocupação da terra (Oliveira, 2011).

A ecodinâmica foi analisada com base em Souza & Oliveira (2011), que realizaram a adaptação dos meios ecodinâmicos de Tricart (1977) para as condições do semiárido nordestino, onde os ambientes são divididos entre estáveis, de transição, ou instáveis, estando cada categoria de meio associada a uma dinâmica própria e a uma dada suscetibilidade geoambiental.

Os meios estáveis são configurados a partir das seguintes características:

- 1) Cobertura vegetal suficientemente densa ou fechada para impedir eficazmente ações associadas com a morfogênese mecânica;
- 2) Dissecação moderada do relevo, sem maiores incisões fluviais, sem solapamentos vigorosos dos cursos d'água e vertentes de lenta evolução;
- 3) Regiões tectonicamente calmas desde longos tempos e ausência de manifestações vulcânicas e sismicidade capazes de desencadear paroxismos morfodinâmicos de aspectos catastróficos;
- 4) Nítida predominância da pedogênese em face da baixa capacidade das ações pluviais e eólicas de remover e transportar materiais;
- 5) Solos maduros e espessos em equilíbrio natural com os demais componentes naturais;
- 6) Recobrimento vegetal primário pouco alterado ou em franca recuperação, evoluindo para condições similares às originais.

Meios de transição ou “intergrades”:

Apresentam características de transição entre os meios estáveis e os meios fortemente instáveis, marcando a passagem gradual entre eles. Conforme Tricart (1977), não existe nenhum corte, mas a presença de um contínuo para marcar a transição entre estabilidade e instabilidade. Admite-se que a caracterização desses meios depende da interferência permanente da morfogênese, exercendo-se de maneira concorrente sobre um mesmo espaço. Assim, o balanço pode favorecer uma ou outra: predominando a pedogênese, passa-se aos meios estáveis; preponderando a morfogênese, os meios tendem à instabilidade.

Meios fortemente instáveis:

Estes têm características opostas aos meios estáveis e a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica natural.

- 1) Cobertura vegetal ausente ou muito aberta para impedir manifestações da morfogênese mecânica.
- 2) Geodinâmica interna muito instável intervindo através de ações variadas, como o vulcanismo através de corrida de lavas ou de chuvas de cinzas que têm efeitos imediatos catastróficos sobre o ambiente, por exemplo.
- 3) Relevos fortemente dissecados e com classes de declives muito altas que impedem a intensificação dos processos pedogenéticos.
- 4) Presença de solos muito rasos ou de chãos pedregosos.
- 5) Condições bioclimáticas agressivas.
- 6) Áreas submetidas a processos de desertificação.

A partir da compreensão das principais limitações e do enquadramento em uma determinada categoria de meio ecodinâmico, foram estabelecidos os principais riscos à ocupação.

No diagnóstico socioeconômico foram enfatizados os aspectos sociais, econômicos e da organização do espaço, ligados direta ou indiretamente ao processo de desertificação. Partindo de um enfoque adaptado de parâmetros utilizados na metodologia DPSIR (OECD, 2000), as variáveis socioeconômicas foram subdivididas em fatores condicionantes ao processo de desertificação e fatores sociais de pressão antrópica sob o ambiente.

Foram considerados fatores condicionantes ao processo de desertificação características socioespaciais que por si só não implicam necessariamente em uma pressão direta sobre os recursos naturais locais, mas que atuam como fatores que levam maiores



deposições a esses processos. Foram inseridas na análise variáveis referentes à densidade demográfica, concentração fundiária, pobreza e educação.

Foram consideradas fatores de pressão as variáveis que refletem uma pressão direta da ação antrópica no meio ambiente conduzindo aos processos de degradação ambiental/desertificação. Foram analisadas variáveis referentes à extração vegetal, à agricultura e à pecuária.

### 2.2.2 Análise da dinâmica espaçotemporal da vegetação, do atual estado de uso e cobertura e implicações nos feedbacks de desertificação ligados à dinâmica hidroclimática

Para a análise comparativa da cobertura vegetal foram confeccionados dois mosaicos de satélite a partir de imagens dos satélites LANDSAT 5, sensor TM, bandas 4, 3 e 2, com resolução espacial de 30m, datadas de setembro/1985 e LANDSAT 8, sensor OLI, bandas 5, 4 e 3, como resolução espacial de 30m, datadas de setembro/2019.

A composição de bandas utilizadas forneceu uma composição de falsa cor com destaque para a vegetação que apresenta forte reflectância na frequência do infravermelho próximo. Ambos os mosaicos foram recortados a partir do perímetro de Crateús e em seguida foi realizado o procedimento de equalização do histograma a fim de conferir melhores contrastes às imagens.

A partir da análise comparativa das imagens de satélite, foram identificadas as principais alterações na vegetação entre 1985 e 2019. Buscou-se evidenciar quais áreas sofreram maiores níveis de perda de vegetação e como se deu o padrão de avanço da degradação ambiental em cada sistema ambiental.

O mapeamento do uso e cobertura da terra, elaborado na escala metodológica de 1:50.000, sintetizou as principais atividades exercidas no município, o atual estado da cobertura vegetal, assim como seus níveis de representatividade espacial.

Para a identificação e mapeamento das principais classes de uso e cobertura da terra, foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 8, sensor OLI, com resolução espacial de 30m, datadas de setembro/2019. Para determinação das classes, foi utilizado o método da classificação supervisionada, a partir de dados georreferenciados coletados em campo e computados no software Qgis 3.16.

As classes de mapeamento foram elaboradas a partir de uma adaptação dos critérios adotados por FUNCEME e DNOCS (2015). Considerou-se a cobertura vegetal

predominante, as principais atividades e o estado de conservação e/ou de degradação do ambiente. A partir dos elementos de interpretação adotados no reconhecimento das feições analisadas nas imagens, foi possível distinguir as classes temáticas do mapa de uso e cobertura.

Através do mapeamento dos principais tipos de uso e cobertura, foi possível diagnosticar o atual estado de conservação das unidades de vegetação presentes em Crateús. Além de um importante indicador do atual estado de degradação/desertificação, as formações vegetais foram analisadas a partir de sua função de fitoestabilização dos solos e do relevo como um todo.

Através de atividades de campo, com observações *in loco* associadas a imageamento com drone, buscou-se diagnosticar o atual estado de conservação dos solos. Os indicadores de processos erosivos verificados em campo, além de evidenciarem um importante aspecto do avanço da desertificação, também serviram para melhor compreensão dos processos morfodinâmicos atuantes no momento.

A análise dos *feedbacks* entre superfície e atmosfera se deu através da análise das perdas de vegetação e da configuração atual dos tipos de uso e cobertura dos solos. O estado de conservação da vegetação evidencia a capacidade de manutenção da evapotranspiração local, indicando o nível de manutenção dos processos de reciclagem da precipitação. Os padrões de espaçamento gerados pelos diferentes níveis de degradação foram analisados em função dos diferentes graus de exposição dos solos, responsáveis pela elevação do albedo, diminuição da rugosidade da superfície e suspensão de poeira na atmosfera.

### 2.2.3 Análise das séries temporais de precipitação

A análise das séries temporais de precipitação deu-se através de três variáveis climáticas: médias, variabilidade (coeficiente de variação) e coeficiente de diminuição das chuvas.

A seleção dos postos partiu de três critérios considerados relevantes para conferir maior confiabilidade nos resultados obtidos: quantidade de postos expressiva o suficiente para gerar uma interpolação espacial dos dados analisados; longevidade da série histórica superior a 40 anos, e número de falhas inferior a 20%.

Os critérios selecionados, todavia, apresentaram inviabilidade prática. A partir da pesquisa feita junto à base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e Fundação Cearense de Meteorologia – FUNCEME, foi verificado que apenas um posto

atendeu aos dois últimos critérios, inviabilizando assim o primeiro. Desse modo, a fim de conferir maior robustez à análise, optou-se pela adoção de duas escalas de análise dos dados.

A primeira escala atendeu perfeitamente os critérios de longevidade da série histórica superior a 40 anos e número de falhas inferior a 20%, tendo um único posto como objeto de análise. A segunda, atendeu o critério de expressividade de postos necessários para interpolação espacial, onde se buscou manter tanto quanto possível a longevidade da série histórica e a baixa proporção de dados faltosos, resultando na seleção de 9 postos com registros de 19 anos de precipitação, quase todos com menos 20% de dados faltosos.

### ***2.2.3.1 Análise temporal da pluviometria entre 1974 e 2019***

O posto utilizado para as análises foi o posto 42 - Crateús da FUNCEME. Este possui uma série de 46 anos (1974 a 2019) sem falhas.

Os dados, inicialmente disponibilizados no formato TXT, com os valores diários de precipitação, foram exportados para o *Excel*, onde foram calculados os totais anuais (escala utilizada para análise dos dados) e posteriormente exportados para o software *Rstudio*, onde foram realizados os cálculos estatísticos.

### ***2.2.3.2 Estatísticas descritivas***

No intuito de partir de uma compreensão geral do comportamento da precipitação ao longo da série histórica, foi realizada uma análise das estatísticas descritivas dos dados, realizadas no *Excel*, onde foram calculadas medidas de tendências centrais: média e mediana; medidas de variabilidade dos dados como desvio padrão, coeficiente de variação, valores mínimos, máximos e amplitude.

### ***2.2.3.3 Regressão linear simples***

Utilizando o software *Rstudio*, com o pacote *Forecast*, foi realizado um tratamento prévio no banco de dados para que a variabilidade dos dados não apresentasse fortes interferências na qualidade do modelo. Foi realizada uma suavização dos dados através de uma média móvel de ordem 3 e em seguida aplicada a técnica de regressão linear simples

para séries temporais<sup>4</sup> onde foram gerados modelos capazes de captar o comportamento das precipitações anuais ao longo do tempo.

Uma vez que a regressão se deu somente por análise autorregressiva, que os dados não possuíam sazonalidade e não se utilizou nenhuma outra variável independente, a leitura do modelo pode ser entendida como uma análise de regressão linear entre a variável tempo como variável explicativa e precipitação como variável resposta. Desse modo, pode-se compreender o intercepto do modelo (coeficiente linear) como tendência central inicial da precipitação e o coeficiente angular como a taxa de declinação da precipitação a cada ano.

A partir dos coeficientes do modelo, realizou-se uma previsão de como estarão os níveis de precipitação no começo da próxima década (2030) no caso da permanência da atual tendência.

#### **2.2.3.4 *Análise espaço temporal da pluviometria entre 2001 e 2019***

Os dados utilizados para as análises foram as séries temporais de precipitação de 9 postos da Fundação Cearense de Meteorologia situados em Crateús e em municípios vizinhos, sendo eles: postos 42, 213, 356, 378, 655, 658, 686, 692 e 693.

Os dados, inicialmente disponibilizados no formato TXT, com os valores diários de precipitação, foram exportados para o *Excel*, onde foram calculados os totais anuais (escala utilizada para análise dos dados) e posteriormente exportados para o software *Rstudio*, no qual foram realizados os cálculos estatísticos.

#### **2.2.3.5 *Análises estatísticas***

A presença de dados faltosos levou a necessidade inicial de realizar a correção das falhas. Desse modo, optou-se pela imputação de dados faltosos. Para esse propósito foi utilizada a função *tsclean* do pacote *forecast*. Através dessa função, foram utilizados parâmetros obtidos através de decomposição STL (Seasonal and Trend decomposition using Loess) robusta para séries sazonais para estimar os valores ausentes por meio de interpolação linear ajustada de acordo com a sazonalidade.

---

<sup>4</sup> Além das estatísticas inferenciais (nível de significância do modelo e dos coeficientes estimados), foram verificados todos os pressupostos necessários para validade do modelo: normalidade dos resíduos (Shapiro Wilk); Homocedasticidade (Teste de Breusch Pagan); Ausência de autocorrelação dos resíduos (gráfico ACF - autocorrelation function); ausência de outliers nos resíduos (sumários dos resíduos padronizados) e linearidade (diagrama de dispersão).

Houve a intenção de se utilizar de técnicas de suavização dos dados nas séries temporais, contudo não houve melhoras de desempenho no processo de modelagem dos dados, de modo que o único tratamento estático dos dados utilizados nesta escala de análise foi a imputação de dados faltosos.

As estatísticas descritivas utilizadas para a análise do comportamento espacial da série histórica de precipitação foram a média e o coeficiente de variação. Também foram realizadas regressões para calcular os coeficientes angulares referentes às tendências das séries históricas de cada posto, seguindo o mesmo direcionamento metodológico descrito no tópico acima.

Partindo da localização georreferenciada de cada posto, foram realizadas interpolações espaciais para os valores médios de precipitação, dos coeficientes de variação e dos coeficientes angulares das regressões. Levando em consideração a quantidade de postos, (inferiores a 30) optou-se por realizar a interpolação espacial através do método de interpolação pelo inverso do quadrado da distância (IDW).

#### 2.2.4 Operacionalização Técnica

Para execução da operacionalização técnica da metodologia descrita acima, o presente trabalho foi executado a partir de uma divisão prática entre gabinete e campo.

Em gabinete foram realizados levantamentos bibliográficos e geocartográficos, interpretação de imagens de satélite, sistematização do banco de dados, análise dos dados levantados, produção cartográfica, análises estatísticas e sistematização dos resultados.

Em campo foi realizado o reconhecimento da verdade terrestre, onde foram coletados dados através de fichas de campo, coleta de dados para calibragem da análise supervisionada dos dados obtidos através de sensoriamento remoto e coletas dos horizontes superficiais das principais associações de solos do município.

Para a realização do mapeamento temático da área, foram utilizados os seguintes materiais:

- 1) Mapa exploratório/reconhecimento de solos do estado do Ceará em escala de 1: 600.000 (1972);
- 2) Mapa geológico do projeto RADAMBRASIL em escala de 1: 1.000.000 (BRASIL, 1981);
- 3) Mapa Exploratório de Solos do projeto RADAMBRASIL em escala de 1: 1.000.000 (BRASIL, 1981);

- 4) Mapa geomorfológico do projeto RADAMBRASIL em escala de 1: 1.000.000 (BRASIL, 1981);
- 5) Atlas do Ceará (IPLANCE, 1997);
- 6) Mapa geológico do Ceará em escala de 1: 500.000 (CPRM, 2003);
- 7) Compartimentação Geoambiental do Ceará em escala de 1:600.000 (SOUZA, 2007);
- 8) Limite Municipal do IBGE (2007);
- 9) Bases cartográficas de estradas do IPECE (2019);
- 10) Mosaico de imagens de satélite LANDSAT (1985 e 2019).

Para realizar a interpretação dos dados e confecção dos mapas foram utilizados os softwares *Arcgis 2010.1*, *Qgis 3.16*, *Rstudio 1.3* e *SPSS 20*.

### 3 CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DO MUNICÍPIO DE CRATEÚS

O município de Crateús está localizado na mesorregião do Sertão dos Inhamuns, e na microrregião do Sertão de Crateús. Situa-se a cerca de 400 Km da capital (Fortaleza-Ce). O mesmo está localizado à margem do núcleo de suscetibilidade à desertificação dos Inhamuns. Faz fronteiras a Oeste com o estado do Piauí, a Norte com Poranga e Itaporanga, a Leste com Tamboril e Independência e ao Sul com Novo Oriente. As principais vias de acesso são: BR 226 e CE 404.

**Figura 6 - Cartograma de localização do município de Crateús**

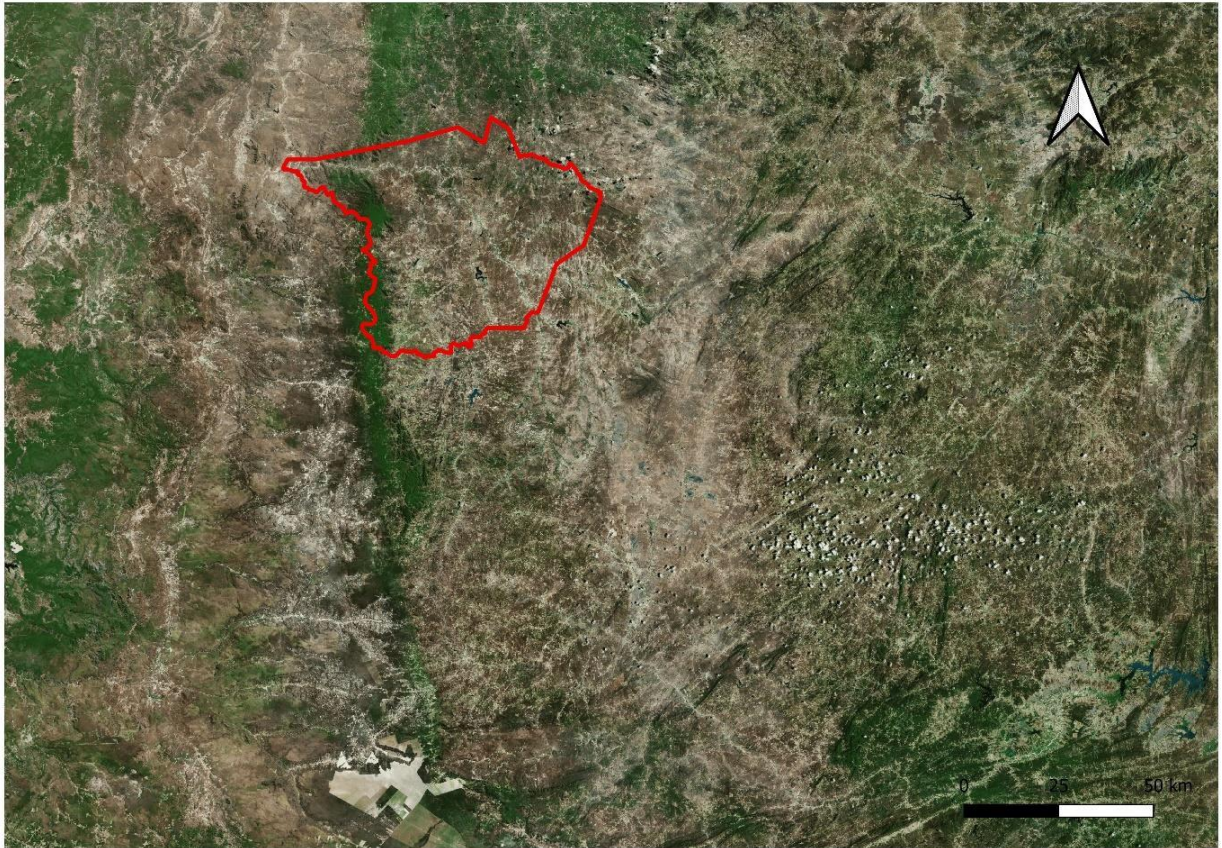


Fonte: Oliveira (2020).

A localização do município é um atributo de fundamental importância nessa análise. Uma vez que a precipitação em geral vem de três fontes de umidade: vapor de água atmosférico antecedente, advecção lateral e evapotranspiração local (TRENBERTH, 1999), a compreensão do entorno é ponto chave para entender a dinâmica climática da desertificação de Crateús. A degradação da vegetação na ASD dos Inhamuns causa um impacto direto na evapotranspiração, que, localmente, se traduz na redução da reciclagem da precipitação, e nas áreas de adjacências em um empobrecimento da umidade proveniente da advecção.

Na imagem abaixo é possível visualizar a vasta área que já se encontra em níveis consideráveis de desertificação na região dos Inhamuns.

**Figura 7 - Cartograma de localização de Crateús em relação à ASD dos Inhamuns**



Fonte: Elaboração do autor, a partir do mosaico de imagens de satélite disponibilizado pelo BING.

Grande parte da vegetação encontra-se muito degradada, chegando a ser praticamente inexistente em diversas áreas, formando uma grande mancha de exposição total ou parcial dos solos que se estende por cerca de 130 km de extensão entre os municípios de Independência e Arneiroz.

### **3.1 Bases Geológicas e Geomorfológicas**

O contexto geológico da área de estudo é herança de um longo desenvolvimento histórico, o qual não cabe aprofundamento para a finalidade desta análise. A importância da compreensão da geologia da área para o presente estudo se dá basicamente de dois modos: na compreensão de como esta vem a influenciar no arranjo das unidades geomorfológicas e no comportamento dos demais componentes que integram a paisagem, observando, sobretudo, a



influência das diferentes permoporosidades das litologias, na ecodinâmica natural do ambiente, e, conseqüentemente, na desertificação.

A respeito das implicações geológico-estruturais e de seus reflexos geomorfológicos, dois aspectos são fundamentais: o tectônico e o litológico. O primeiro envolve as deformações recentes, gerando fontes de instabilidade morfodinâmica, e as disposições adquiridas em tempo remoto são responsáveis pelo arranjo espacial do relevo e contribuem para subdivisões no conjunto regional. O segundo deve ser examinado em função de suas propriedades face à manifestação da dinâmica externa. (TRICART 1977).

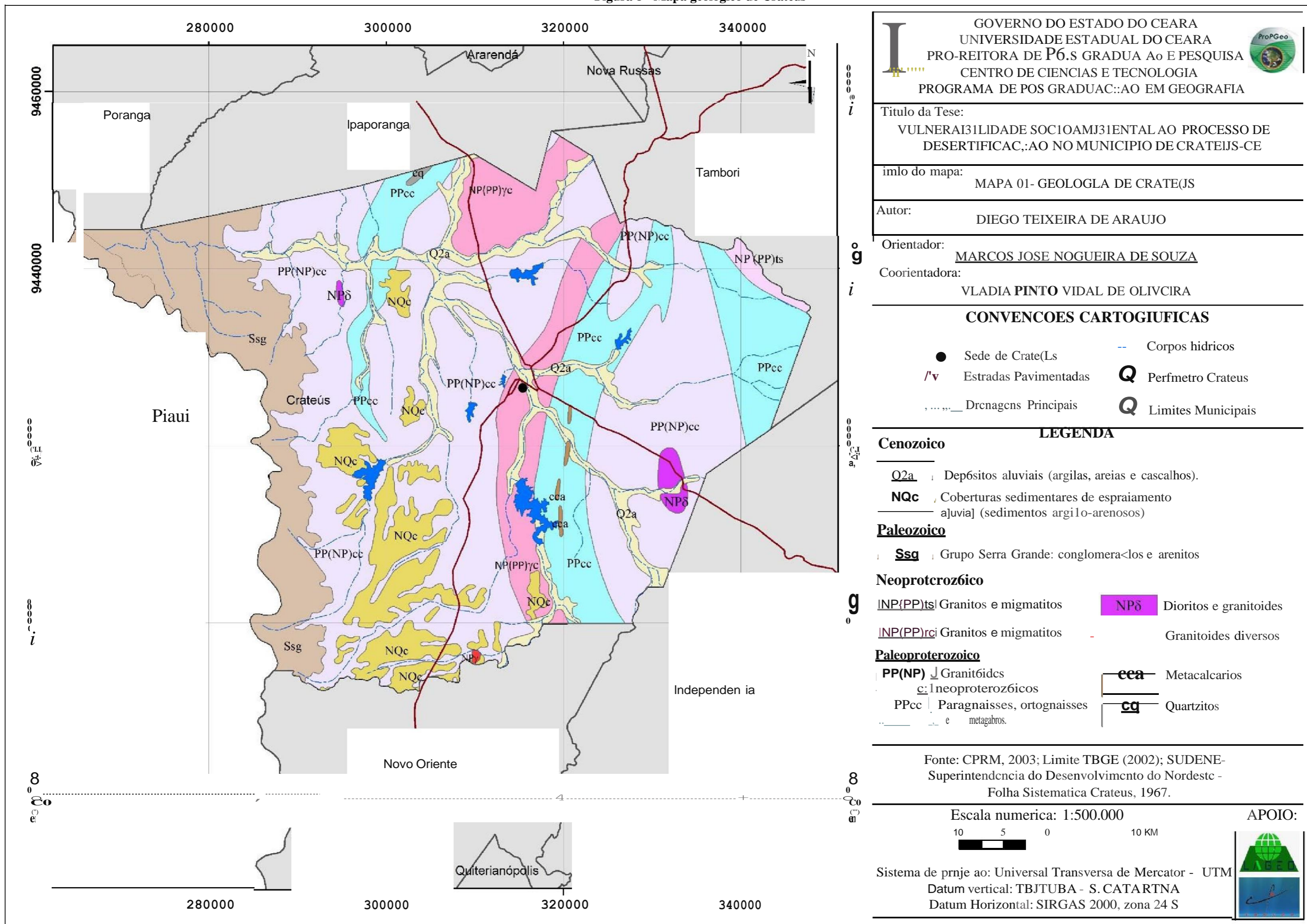
O quadro litológico da área de estudos (Mapa 01) é composto em sua maior parte por rochas do embasamento cristalino, com litologias datadas dos períodos Neoproterozóico e Paleoproterozóico. Os principais litotipos encontrados são: granitos, migmatitos, dioritos, granitoides, paragneises, ortogneises, metagabros, matacalcários e quartzitos (CPRM, 2003). Geomorfológicamente, o conjunto de litologias que compõem o embasamento se expressa na forma de depressão sertaneja e nas áreas de maior resistência litológica se formam as cristas residuais e inselbergs, em decorrência do processo de erosão diferencial.

Dada a estrutura maciça das rochas, os litotipos do embasamento apresentam, via de regra, baixa permoporosidade propiciando menor infiltração da precipitação, favorecendo o escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão local.

Os depósitos sedimentares encontrados na área de estudo datam dos períodos Cenozoico e Paleozoico. O primeiro é representado pelos depósitos aluviais e colúviais; o segundo pela formação Serra Grande. Os depósitos aluviais coincidem geomorfológicamente com as planícies flúvias; os depósitos colúviais coincidem com os tabuleiros interiores em algumas regiões onde existe algum sobressalto topográfico, e ora se apresentam como embasamento da depressão sertaneja, onde não existe desnivelamento topográfico com o cristalino. A formação Serra Grande, composta por conglomerados e arenitos (CPRM, 2003), geomorfológicamente se expressa na Cuesta da Ibiapaba.

De modo geral, os depósitos sedimentares encontrados no município apresentam elevada permoporosidade propiciando maior potencial de infiltração da precipitação, favorecendo o processo de percolação da água e, conseqüentemente, um baixo potencial de erosão.

Figura 8 - Mapa geológico de Crateús



Fonte: Elaborado pelo autor.

A compartimentação das unidades geomorfológicas seguiu os critérios adotados pela 4ª fase de mapeamento do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1981; BARBOSA *et al.*, 1982). Desse modo, a compartimentação do relevo se deu dividida em 4 táxons, expressos a seguir.

Domínios Morfoestruturais, que constituem os grandes conjuntos estruturais, responsáveis pelos arranjos regionais de relevo e que guardam relação de causa entre si; Regiões Geomorfológicas, que são grupamentos de unidades geomorfológicas apresentando semelhanças resultantes da convergência de fatores de sua evolução; Unidades Geomorfológicas - associações de formas de relevo recorrentes, geradas de uma evolução em comum, e os Tipos de Modelados, classificados de acordo com sua gênese e funcionalidade (BARBOSA *et al.*, 1982).

Na delimitação dos domínios estruturais da área de estudo, optou-se por adotar a compartimentação realizada por Souza (1988) para o estado do Ceará. Nesse estudo foram identificadas três unidades morfoestruturais: domínio dos depósitos sedimentares cenozóicos; domínio das bacias sedimentares páleo-mesozóicas; e domínio dos escudos e dos maciços antigos. Dada a diversidade litológica do município, que se expressa na compartimentação do relevo, na área de estudo encontram-se compartimentos geomorfológicos pertinentes aos três domínios. O primeiro, representado pelas Planícies Fluviais e pelos Tabuleiros Interiores, o segundo, pelo Planalto da Ibiapaba, e o terceiro, pela Depressão Sertaneja e pelas Cristas Residuais e Inselbergs (Figura 13).

### 3.1.1 Planícies Fluviais

De acordo com Souza (1988), as planícies fluviais são as formas mais características de acumulação decorrentes da ação fluvial. Geologicamente esses ambientes correspondem aos depósitos aluviais de modo que sua litologia é formada por: argilas, areias argilosas, quartzosas e quartzofeldspáticas, conglomeráticas ou não, cascalhos e argilas orgânicas / fluviais (CPRM 2003).

Devido ao fato de estas estarem situadas no auto curso do rio, e em um clima semiárido que implica em uma baixa competência fluvial dos rios intermitentes, as planícies apresentam largura pouco expressiva, exibindo algumas descontinuidades, que ocorrem, na maior parte das vezes, em função de variações na resistência litológica da rocha encaixante, ou maior declividade do terreno.

São dotadas de uma morfologia bastante plana variando de 0 a 3 graus de declividade (Figura 9), havendo, contudo, algumas discontinuidades topográficas marcadas pela transição do leito maior para o leito médio dos rios. Em decorrência de sua natureza genética associada aos processos fluviais, encontram-se sempre margeando os níveis de base locais (corpos hídricos). Apresentam as baixas altitudes da área de estudo, com cotas variando de 250 a 300 m de altitude.

Em Crateús, encontram-se sempre sobrepostas à Depressão Sertaneja com uma distribuição espacial dispersa por todo esse compartimento, apresentando, contudo, uma condição de ambiente muito diferenciada, marcada por uma melhora na disponibilidade hídrica de superfície e subsuperfície.

**Figura 9 - Planície fluvial do rio Poti**



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1.2 Tabuleiros Interiores

Os Tabuleiros Interiores (Figura 10) são áreas planas com leve caimento voltado para os fundos de vale, apresentando um entalhamento da drenagem muito fraco em seu topo, com altitudes variando entre 300 e 400 m, exibem baixa variação topográfica, sendo quase imperceptíveis os limites com a Depressão Sertaneja.

Apresentam uma leve inclinação no sentido oeste leste, fato que condiciona as drenagens a assumirem um padrão paralelo, ora seguindo este mesmo direcionamento, ora seguindo o padrão sudoeste nordeste.

Sua litologia é associada aos depósitos coluviais correlatos à formação Serra Grande. De acordo com a CPRM (2003), é formada por sedimentos argiloarenosos, no entanto, em campo, verificamos também uma presença significativa de cascalhos explicados pelo fato destes depósitos serem correlatos à formação Serra Grande, o que explica a disposição espacial deste compartimento, que se encontra nas áreas mais próximas ao Planalto da Ibiapaba.

Um das principais características dessa feição do relevo é a cobertura arenosa com grande espessura. Nessas áreas, as boas condições de percolação da água conferem ao solo uma drenagem excessiva, limitando a ação erosiva dos processos pluviais e acentuando os efeitos da lixiviação (SOUZA 1981), favorecendo, dessa forma, os Neossolos Quartzarênicos como principais solos encontrados neste compartimento.

**Figura 10 - Tabuleiros Interiores**



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1.3 Planalto da Ibiapaba

O Planalto da Ibiapaba consiste em relevo sedimentar em forma de cuesta com *front* voltado para o Ceará e o reverso voltado para o Piauí. A unidade geológica que constitui esse relevo no Ceará é a formação Serra Grande, a qual constitui unidade basal da bacia do Parnaíba (SOUZA 2000). Compõem-se de conglomerados e arenitos, em parte feldspáticos, com intercalações de siltitos e folhelos / fluvial e marinhos rasos (CPRM, 2003).

Nas proximidades do reverso imediato, onde o território é cearense, os rios são predominantemente obsequentes (correm em sentido inverso ao mergulho das camadas), apresentam um padrão de drenagem paralelo, com moderado entalhamento do relevo, formando uma morfologia que varia entre ondulado e suave ondulado, o *front* da cuesta (Figura 11) apresenta um escarpamento bastante acentuado com declividade superior a 45 graus.

Neste compartimento, dada a elevada permoporosidade do material geológico (onde predomina o arenito), existe um bom potencial hidrogeológico, no entanto, a água está sob difícil acesso, sendo necessária a perfuração de poços demasiadamente profundos, algo pouco viável do ponto de vista econômico.

**Figura 11 - Front da Cuesta da Ibiapaba**



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 3.1.4 Depressão Sertaneja

A Depressão Sertaneja (Figura 12) compreende a maior unidade geomorfológica da área de estudo, apresentando contato com todos os demais compartimentos geomorfológicos. Geologicamente é constituída por uma grande variedade de rochas cristalinas datadas do Pré-cambriano, especificadamente do período Paleoproterozoico e Neoproterozóico (CPRM 2003).

Evidencia-se como uma vasta superfície rebaixada com altitudes que variam de 300 a 400 metros. De acordo com Souza (1988), sua morfologia se expõe através dos pedimentos que se inclinam desde a base dos maciços residuais, dos planaltos sedimentares e dos inselbergs com um caimento topográfico direcionado aos fundos de vale.

Dentre as características que individualizam o compartimento em análise, podem ser destacadas as seguintes: truncamento indistinto das litologias por processos de morfogênese mecânica; revestimento generalizado por caatingas que possuem pequena capacidade de deter ou atenuar a ação de desgaste; pequena espessura do manto de alteração das rochas; deficiente capacidade de erosão linear face a intermitência sazonal dos cursos de água, justificando a pequena diferença de altimetria entre os interflúvios os fundos de vale (SOUZA 1988).

**Figura 12 - Depressão Sertaneja**



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1.5 Cristas residuais e Inselbergs

Dispõem-se ao longo das depressões sertanejas, apresentando-se como compartimentos ilhados. São constituídos por rochas do embasamento cristalino, tendo como litologias predominantes as rochas graníticas e as rochas metamórficas, com forte presença de quartzitos. Devido à influência litológica, assumem cotas altimétricas diferenciadas do entorno, em decorrência da erosão diferencial.

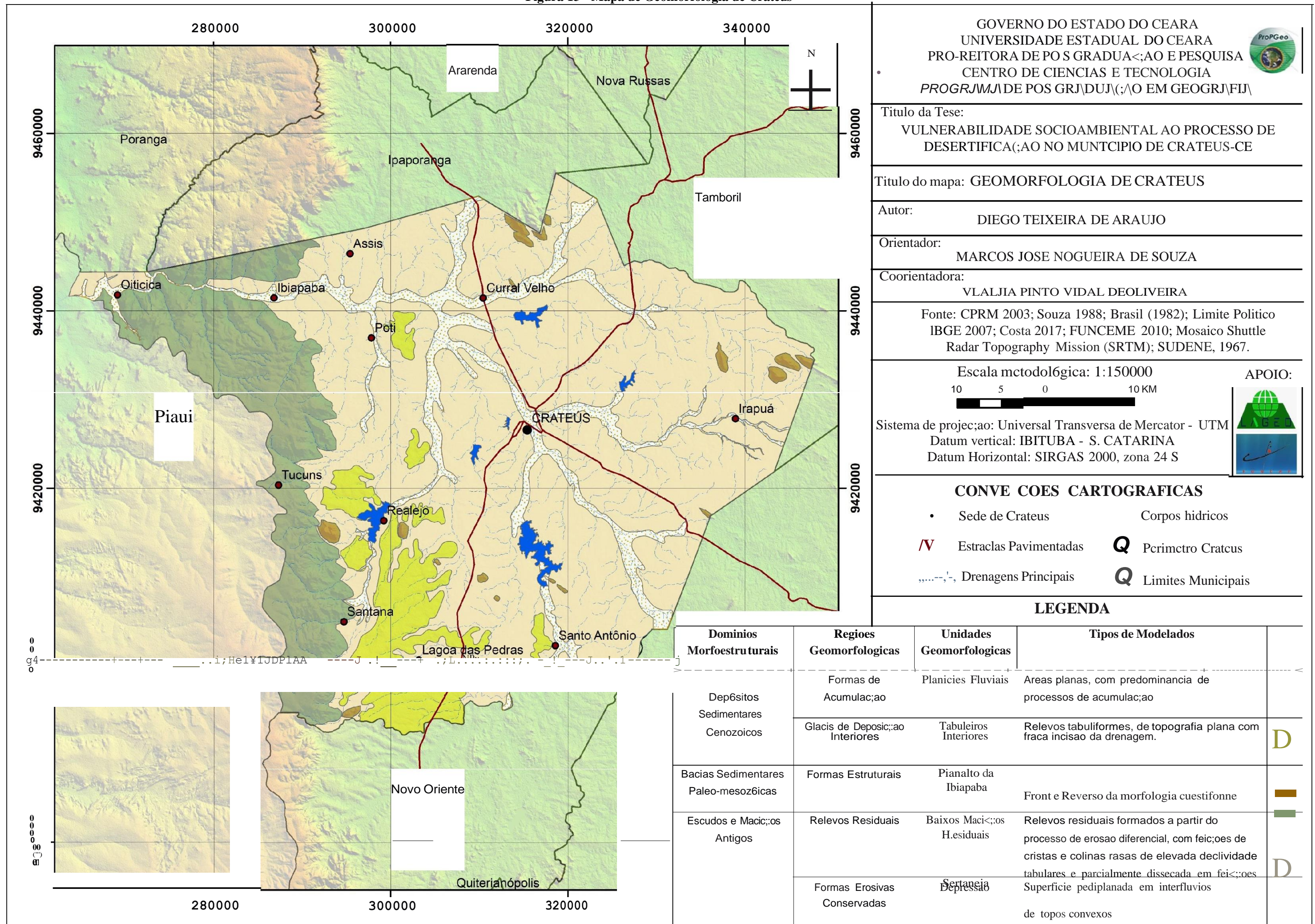
Os níveis altimétricos desses relevos variam entre 350 e 550 metros de altitude, de modo que a variação de altitude não justifica uma melhora da precipitação em relação à Depressão Sertaneja. Por essa razão, os processos externos se dão através de morfogênese mecânica.

Devido à forte ação erosiva do clima semiárido associada à elevada declividade desses ambientes, apresentam mantos de alteração muito pouco espessos, propiciando o predomínio de Neossolos Litólicos geralmente encontrados nos setores mais altos e/ou declivosos, associados a Argissolos geralmente encontrados mais próximos à base.

Diferente dos grandes maciços residuais, esta unidade geomorfológica não se apresenta com grande diferença ambiental da Depressão Sertaneja, no entanto, apresentam uma diferenciação na ecodinâmica do ambiente, que adquire maior instabilidade por conta da elevada declividade.

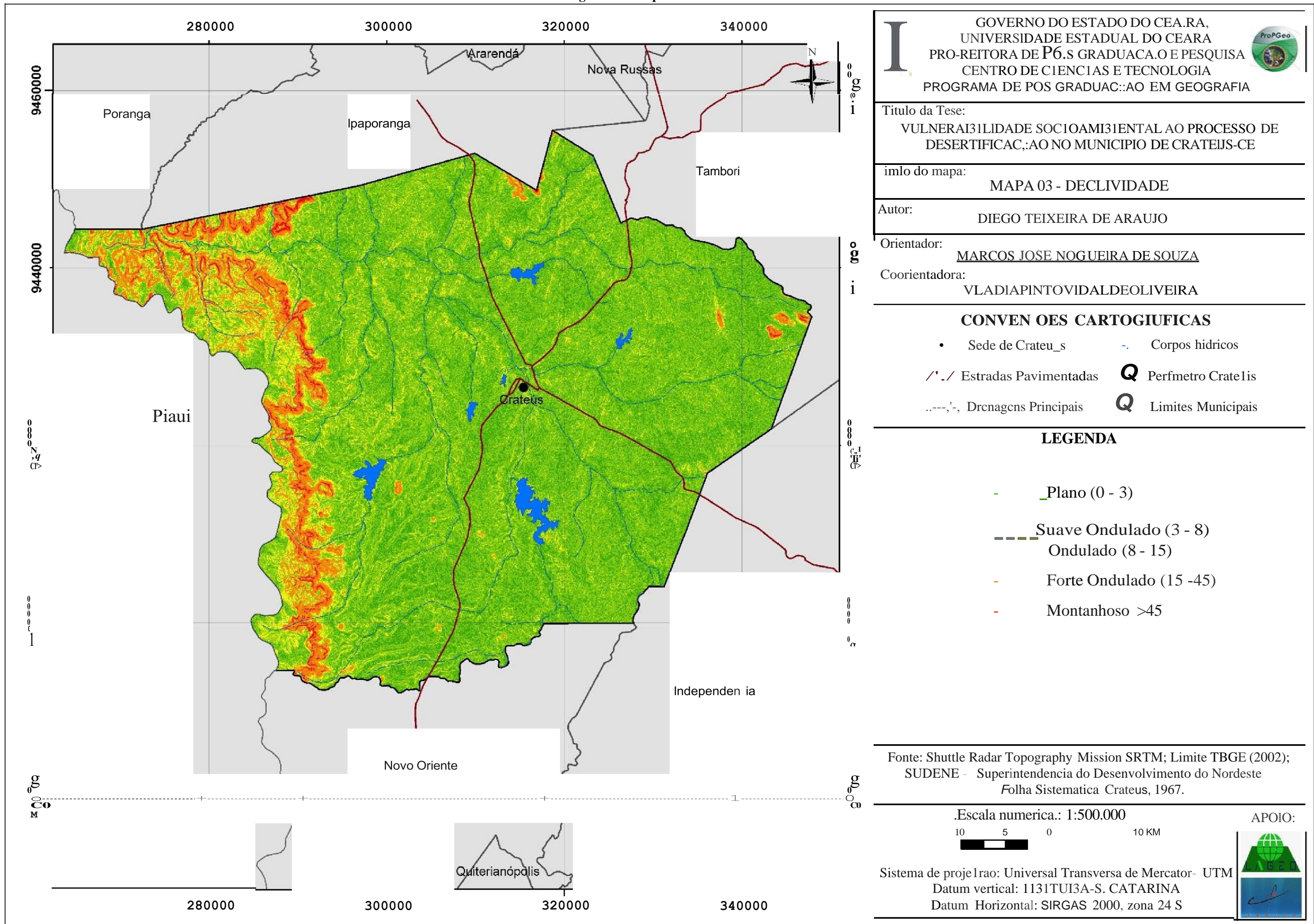


Figura 13 - Mapa de Geomorfologia de Crateús



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 14 - Mapa de declividade de Crateús



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.2 Condições climáticas e hidrográficas

Clima pode ser considerado como o conjunto flutuante das condições atmosféricas caracterizadas pelos estados e evolução do tempo no curso de um período suficientemente longo, para um domínio espacial determinado (OMM, 1959). Nesse sentido, compreender os sistemas dinâmicos associados à formação do tempo em uma dada região é a melhor forma de compreender as características climáticas regionais e suas implicações ambientais.

Apesar dos baixos níveis pluviométricos registrados no estado do Ceará, o clima local deriva da interação de uma diversidade de sistemas atmosféricos e massa de ar, que atuam na região. Soares (2015) realizou uma caracterização dos tipos de tempo para o estado do Ceará a partir do ritmo de sucessão dos fatores atmosféricos, levando em conta características temporais e espaciais. Nesse estudo foi identificada a participação dos seguintes sistemas no plano temporal:

- 1) Massa Equatorial Continental - mEc inicia-se em dezembro e vai até meados de março;
- 2) Repercussões de Frente Fria - RFF origina-se em novembro e vai até março;
- 3) Massa Equatorial Atlântica - mEa forma-se em junho e vai até novembro;
- 4) Zona de Convergência Intertropical - ZCIT inicia-se em fevereiro e vai até maio;
- 5) Vórtice Ciclônico de Altos Níveis - VCAN domina a região entre outubro e abril;
- 6) Ondas de Leste - OL inicia-se em maio e vai até julho;
- 7) mEc/mEa se estabelece-se em agosto e vai até outubro;
- 8) ZCIT/mEc e ZCIT/RFF tem participação episódica entre janeiro e abril.

Além dos sistemas atmosféricos citados, Garcês Júnior et al. (2020) destacam que outros fenômenos são fundamentais para a análise da pluviosidade no estado do Ceará, com destaque para a relação El niño e La niña e o dipolo do Atlântico (TSM – Temperatura de Superfície do Mar). Esses mecanismos possuem uma forte influência no regime de chuvas no norte do Nordeste, condicionando, sobretudo, o principal sistema produtor de chuvas na região, a ZCIT (UVO e NOBRE, 1989; SILVA, 2001; SOUSA, 2004).

No caso específico de Crateús, vale destacar o efeito da cuesta da Ibiapaba na formação de chuvas orográficas na zona de barlavento – correspondendo ao reverso imediato do relevo cuestiforme. A ocorrência dessas chuvas se reflete em uma diferenciação da

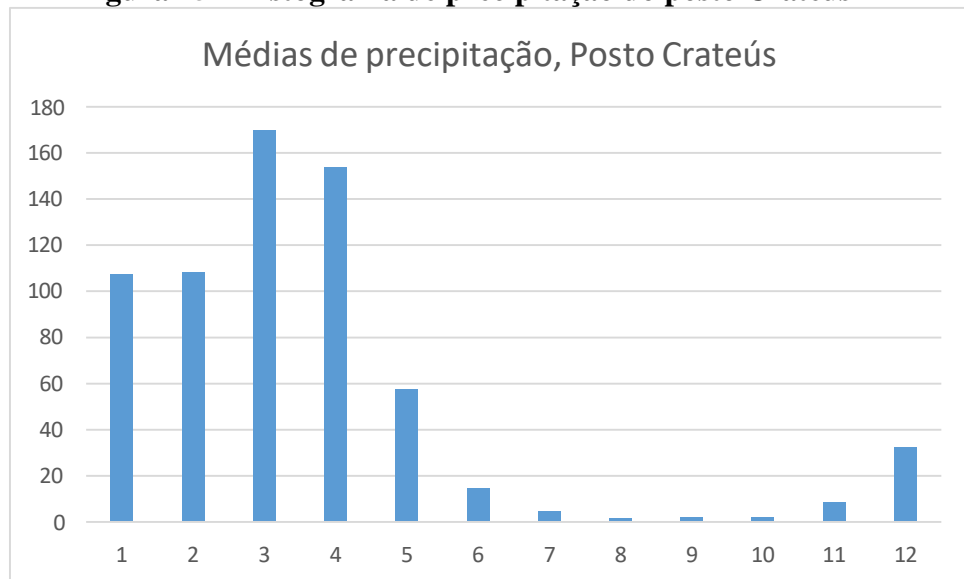
paisagem, marcada por uma vegetação de maior porte (Mata Seca), e na ocorrência de solos mais desenvolvidos (Latosolos).

#### Dinâmica pluviométrica e balanço hídrico

Para a análise da pluviometria de Crateús foram selecionados dois postos principais a fim de caracterizar os dois climas verificados no município: o posto Crateús, situado na depressão sertaneja – onde ocorre o clima semiárido, e o posto Tucuns, situado no reverso imediato da cuesta da Ibiapaba – onde ocorre o clima subúmido seco.

O posto Crateús fica localizado na sede do município, onde foi possível utilizar uma série histórica de 46 anos (1974 a 2019) sem falhas. Os dados coletados foram usados para calcular as estatísticas descritivas e o histograma de distribuição da precipitação (Figura 15).

**Figura 15 - Histograma de precipitação do posto Crateús**



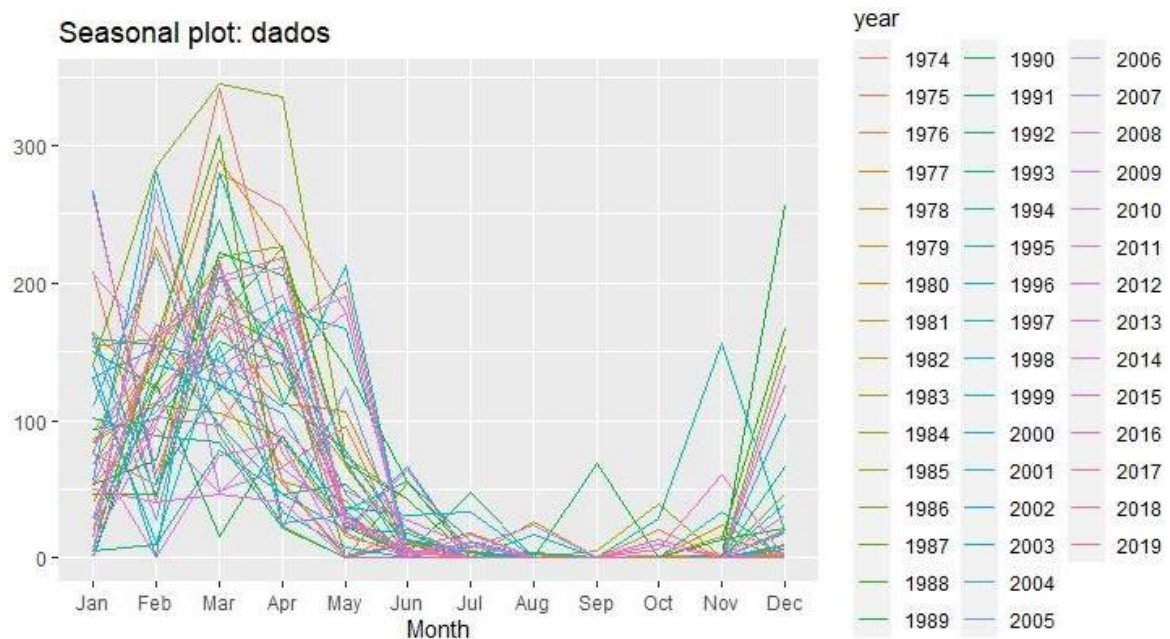
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Funceme (2020).

A precipitação média registrada foi de 689, contudo existe uma elevada variabilidade dos dados que tendem a variar 291 mm (desvio padrão) para cima ou para baixo, o que caracteriza uma forte inconstância bastante própria de climas semiáridos. Analisando o gráfico 1, pode-se verificar que as chuvas se concentram nos quatro primeiros meses do ano, havendo uma forte queda da precipitação em maio, e a partir de junho começa uma forte

estação seca que só tem razoável aumento de chuvas em dezembro, quando começa a pré-estação chuvosa.

Com o intuito de maior detalhamento do comportamento da distribuição sazonal da precipitação, foi construído um gráfico com os valores mensais da série histórica (Figura 16).

**Figura 16 - Plotagem de todos os registros de precipitação da série histórica do posto Crateús**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Funceme (2020).

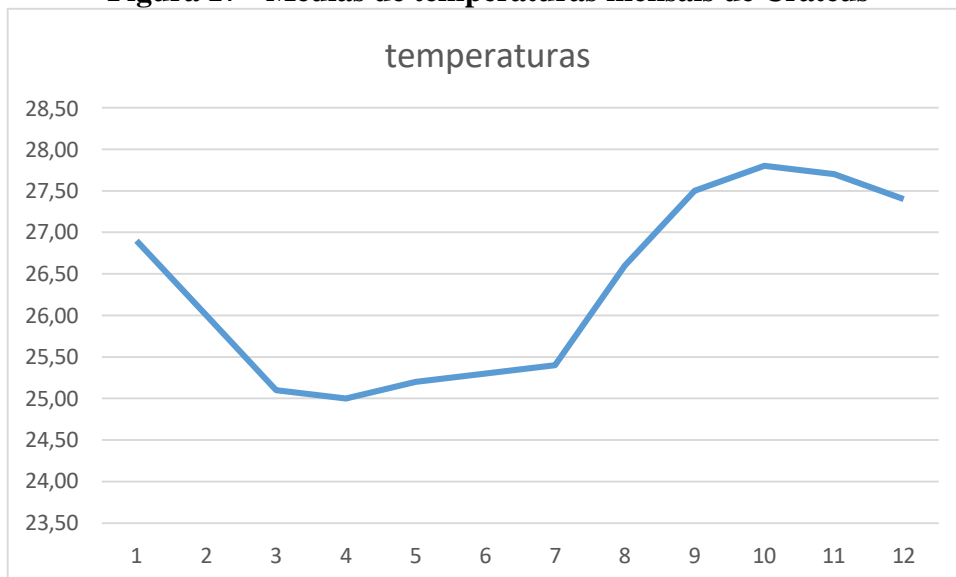
Analisando o gráfico acima é possível verificar o comportamento da precipitação sem o “mascaramento” dos dados realizado pelas médias. É possível visualizar o mesmo padrão verificado no gráfico 1, revelando, contudo, uma “estrutura interna” das precipitações bastante dispersa, com uma elevada variabilidade dos dados.

A acentuada variabilidade climática regional derivada dos padrões e do ritmo dos diferentes sistemas atmosféricos repercute diretamente na ecodinâmica dos ambientes semiáridos. Períodos prolongados de estiagem levam a perda de biomassa responsável pelo processo de fitoestabilização dos solos, são comumente intercalados por períodos com elevados níveis de precipitação, onde cada gotícula que atinge diretamente os solos descarrega toda a energia potencial adquirida no percurso da queda, levando a um processo de desagregação e erosão dos horizontes superficiais ricos em nutrientes e matéria orgânica.

De acordo com Souza (2000), os processos erosivos são mais ativos com as chuvas iniciais quando caem fortes chuvas que se deparam com a vegetação com menor potencial de proteção dos solos. As chuvas torrenciais dão origem ao escoamento superficial difuso que acompanhando o caimento topográfico mobilizam, assim, os detritos derivados da desagregação mecânica, através de um processo seletivo oriundo da competência do agente. O material grosseiro permanece na periferia, enquanto os clásticos finos são mobilizados a uma maior distância, justificando o adelgaçamento do manto de alteração das rochas, além da elevada frequência de lajedos e de chãos pedregosos.

Devido à ausência de uma série histórica de temperatura com um número relevante de observações, os valores de temperatura foram calculados utilizando o software *CELINA*, que alimentado com dados de altitude e com as coordenadas geográficas imputou os valores de temperatura média de cada mês do ano (Figura 17).

**Figura 17 - Médias de temperaturas mensais de Crateús**



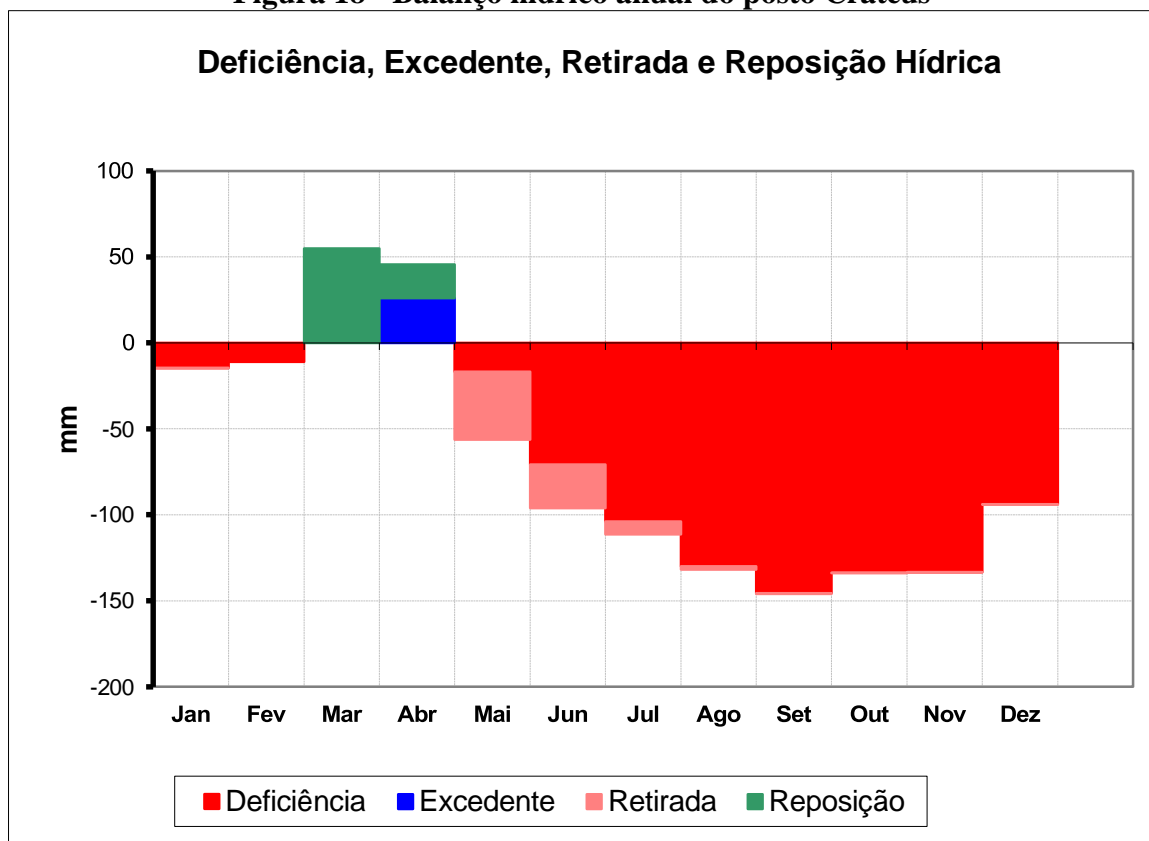
Fonte: Elaborado pelo autor.

De modo geral, a temperatura da sede de Crateús é elevada o ano inteiro. Possui uma média de 26 ° C, apresentando uma amplitude térmica anual de aproximadamente 6°. A distribuição das médias ao longo do ano tende a variar em função dos níveis de precipitação e das estações do ano, desse modo, o ano se inicia em tendência de queda da temperatura por conta da pré-estação chuvosa seguida da estação chuvosa. Os valores mais baixos de temperatura situam-se entre março e julho, período marcado pelo auge da estação chuvosa em março e o início do inverno em julho. A partir desse período a temperatura tende a subir

condicionada pelo encerramento quase completo das chuvas, apresentando uma queda apenas em dezembro, quando se inicia novamente o período de pré-estação chuvosa.

Os baixos valores de precipitação associados às elevadas temperaturas fazem com que haja um elevado déficit hídrico na porção semiárida no município. No intuito de compreender melhor o balanço entre precipitação e evapotranspiração, foi realizado o cálculo do balanço hídrico (Figura 18). O cálculo foi realizado através da planilha do DCE-ESALQ/USP, desenvolvida por Rolim e Sentelhas (2006). A tabela foi alimentada com os dados de precipitação, temperatura, latitude e a capacidade disponível de água no solo – CAD (o valor usado foi o calculado pela Funceme para os planossolos do Ceará, que é de 77,9).

**Figura 18 - Balanço hídrico anual do posto Crateús**



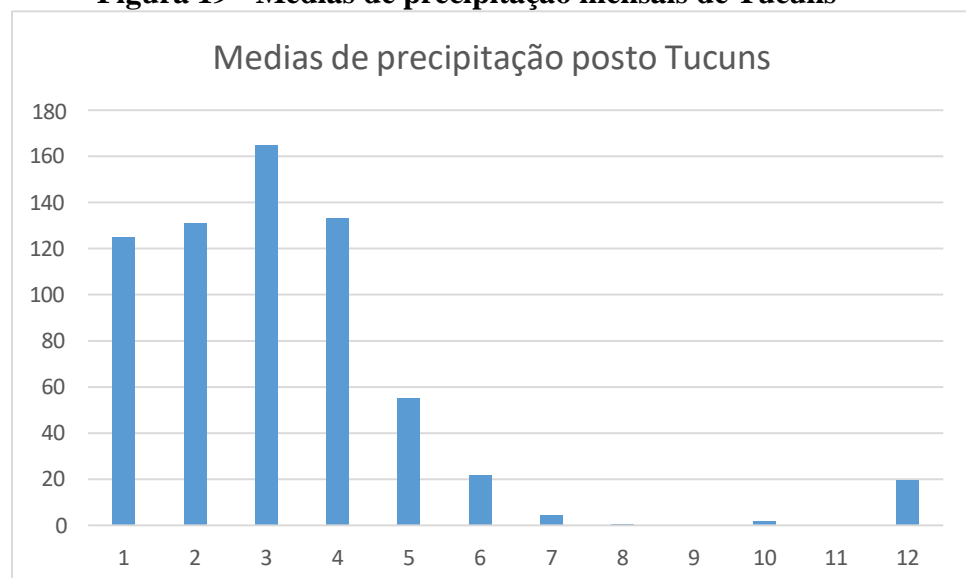
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Funceme (2020).

O balanço hídrico deixa claro que a deficiência hídrica se põe quase como regra ao longo do ano, a evapotranspiração potencial é maior que a precipitação em quase todos os meses, exceto março, quando começa a haver reposição de água nos solos, e abril, que, além de repor, consegue gerar excedente; os meses de julho a novembro possuem déficit hídrico tão acentuado que ainda que chovessem 100 mm a mais, ainda haveria uma sobreposição da evaporação sob a precipitação.

No posto Tucuns, localizado no reverso imediato da cuesta da Ibiapaba, na comunidade Tucuns, foi possível utilizar uma série histórica de 19 anos (2001 a 2019)<sup>5</sup>. Os dados coletados foram usados para realizar as estatísticas descritivas e o gráfico das médias de precipitação (Figura 19).

Dada a influência topoclimática da Ibiapaba, esperava-se um bom melhoramento das precipitações por conta das chuvas orográficas, que apesar de ter ocorrido, foi menor do que o esperado. Com uma diferença de 33 mm, a precipitação média no topo da Ibiapaba é de 722 mm, verificou-se uma variabilidade de 240mm, valor menor do que o encontrado no posto da depressão sertaneja.

**Figura 19 - Médias de precipitação mensais de Tucuns**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Funceme (2020).

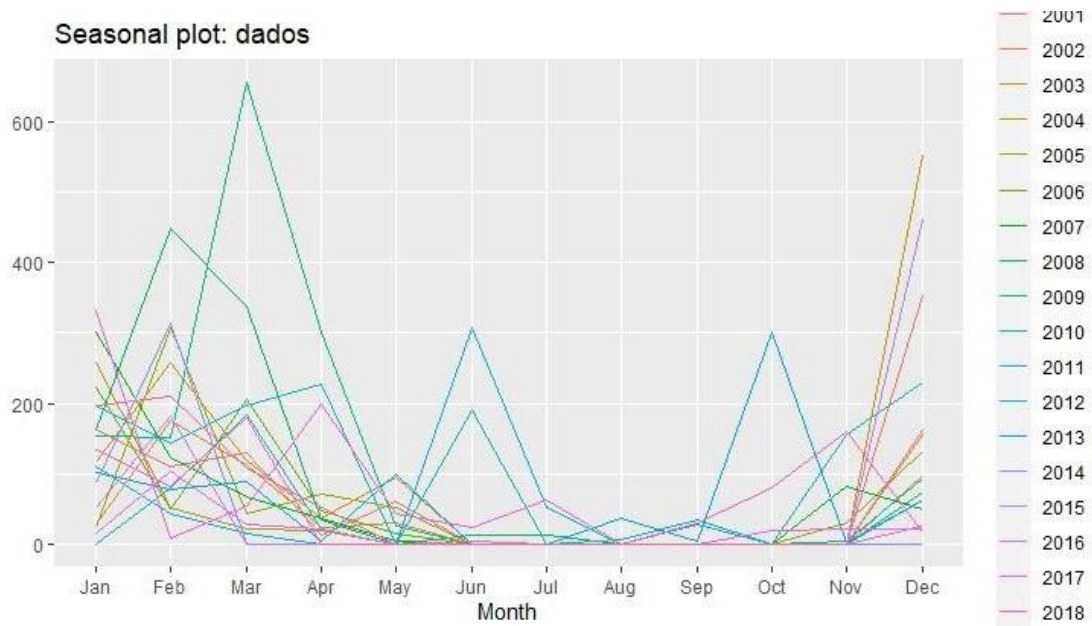
Analisando a Figura 19, pode-se verificar que o padrão de distribuição das chuvas é similar ao da depressão sertaneja, havendo uma concentração nos quatro primeiros meses do ano, uma queda da precipitação em maio, e a partir de junho começa uma forte estação seca, que só tem razoável aumento de chuvas em dezembro, quando começa a pré-estação chuvosa.

Com o intuito de maior detalhamento do comportamento da distribuição sazonal da precipitação, foi construído um gráfico com os valores mensais da série histórica (Figura 20).

<sup>5</sup> Dada a presença de valores faltosos na série, foi realizada uma correção estatística para imputação de *missing values* dos dados através do modelo gerado por regressão linear simples entre o posto Tucuns e o posto Santana.



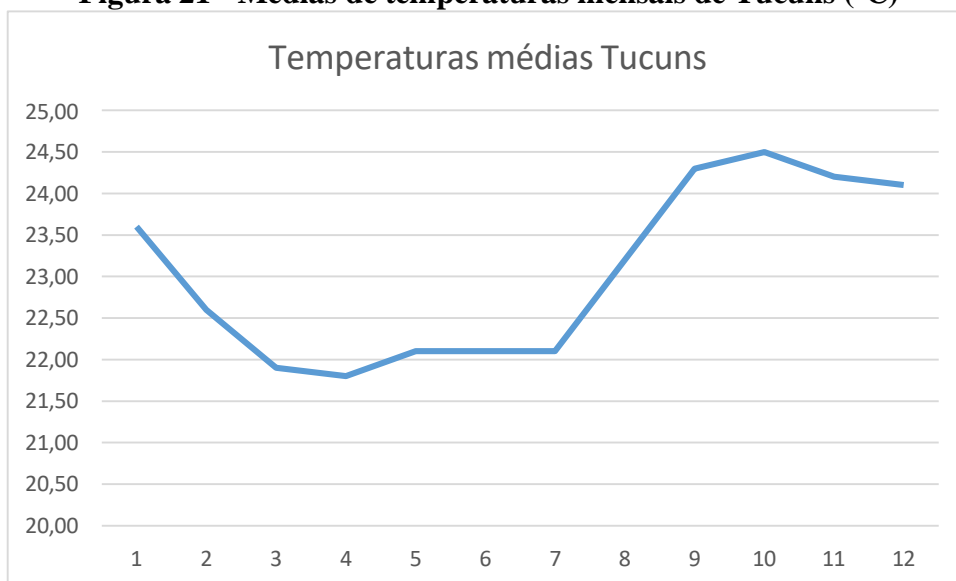
**Figura 20 - Plotagem de todos os registros de precipitação da série histórica do posto Tucuns**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Funceme (2020).

Devido à ausência de uma série histórica de temperatura com um número relevante de observações, os valores de temperatura para o reverso da Ibiapaba também foram calculados utilizando o software *CELINA*, que alimentado com dados de altitude e com as coordenadas geográficas imputou os valores de temperatura média de cada mês do ano (Figura 21).

**Figura 21 - Médias de temperaturas mensais de Tucuns (°C)**

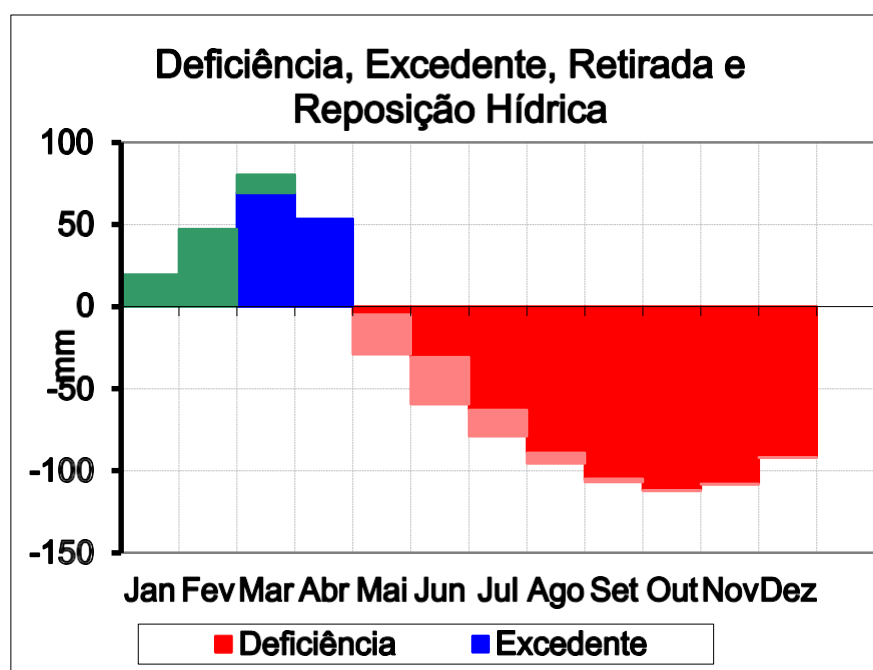


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Funceme (2020).

De modo geral, as temperaturas mensais no topo da Ibiapaba são mais amenas do que as encontradas na depressão sertaneja, mas ainda assim são temperaturas elevadas próprias de regiões tropicais. Possui uma média de 23 ° C, apresentando uma amplitude térmica anual de aproximadamente 4° C. A distribuição das médias ao longo do ano tende a variar em função dos níveis de precipitação e das estações do ano, desse modo, o ano se inicia em tendência de queda da temperatura por conta da pré-estação chuvosa seguida da estação chuvosa. Os valores mais baixos de temperatura situam-se entre março e julho, período marcado pelo auge da estação chuvosa em março e o início do inverno em julho. A partir desse período a temperatura tende a subir condicionada pelo encerramento quase completo das chuvas, apresentando uma queda apenas em dezembro, quando se inicia novamente o período de pré-estação chuvosa.

Os valores de precipitação mais elevados associados às temperaturas mais amenas fazem com que haja um quadro hidroclimático mais favorável nessa porção do município. No intuito de compreender melhor o balanço entre precipitação e evapotranspiração, realizamos o cálculo do balanço hídrico (Figura 22). O cálculo foi realizado também através da planilha do DCE-ESALQ/USP (ROLIM e SENTELHAS, 2006), alimentada com os dados de precipitação, temperatura, latitude e a capacidade disponível de água no solo – CAD (o valor usado foi o calculado pela Funceme para os Latossolos Vermelho Amarelo do Ceará, que é de 74,3).

**Figura 22 - Balanço hídrico anual do distrito de Tucuns**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados da Funceme (2020).

Os quatros primeiros meses do ano são marcados pelo superávit da precipitação sob a evapotranspiração potencial, havendo reposição de água no solo nos quatro primeiros meses, e formação de excedente em março e abril, de maio a dezembro existe um déficit hidrológico que encontra seu ponto máximo em outubro. Comparando com a depressão sertaneja, verifica-se uma significativa melhora, no entanto menor do que a esperada, fato que conduziu a uma verificação mais detalhada da baixa influência topoclimática da Ibiapaba na porção de Crateús.

#### Possível influência do Cânion do Rio Poti no clima do município

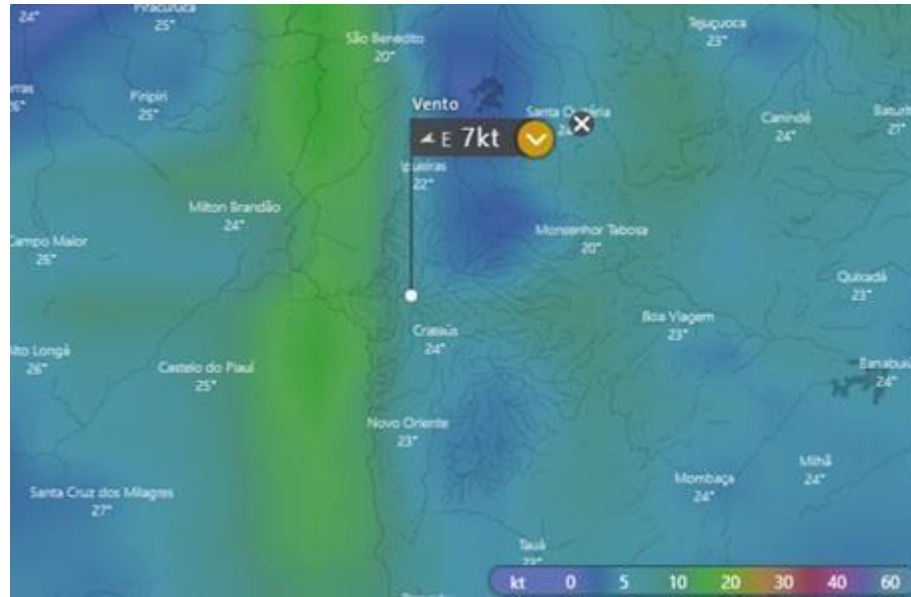
Assim como destacado na caracterização geológico-geomorfológica do município, o planalto da Ibiapaba consiste enquanto relevo sedimentar em forma de cuesta, com *front* voltado para o Ceará e o reverso voltado para o Piauí. Dado que o *front* consiste na vertente abrupta do relevo, a diferença altimétrica entre o reverso imediato e a base do relevo faz com que ocorram chuvas orográficas em toda sua extensão, tornando o reverso imediato mais úmido que as regiões adjacentes.

Uma questão que causa intriga é a razão pela qual a diferença altimétrica provoque tão pouca diferença de precipitação entre o reverso imediato e a área da depressão periférica. Certamente é esperado que haja menores níveis de precipitações do que nos setores mais ao norte do relevo, dado o fato que quanto mais ao sul, mais longe do mar, que é importante fonte de umidade, e existe uma menor diferença altimétrica entre a depressão e o reverso imediato.

Comparando a precipitação de Ubajara, com 1.436 mm, e Crateús, com 722 mm, parece pertinente que haja alguma razão a mais para tamanha discrepância da precipitação. Uma possível explicação para a baixa precipitação no topo da Ibiapaba é a influência do Cânion do rio Poti no clima local, funcionando como corredor, que canaliza uma quantidade significativa dos ventos que, se subissem o relevo, contribuiriam para a formação de chuvas orográficas.

No intuito de aprofundar essa hipótese, foram consultados sites que fornecem a direção e a velocidade dos ventos em tempo real. Foi verificado que de fato o cânion possui uma atuação na canalização dos ventos que vêm das direções NE-SO, L-O e SE – NO, sendo verificada influência mais nítida quando os ventos vêm de Leste para Oeste, como na imagem abaixo (Figura 23).

**Figura 23 - Velocidade média e direção dos ventos da região de Crateús e entorno**



Fonte: site Windy (2020).

Na imagem acima é perceptível que ao longo de toda a Ibiapaba os ventos vindos de leste sofrem redução na velocidade quando chegam na linha do *front* (adquirindo tonalidades azuis com velocidades de 2 a 4 km por hora, mantendo uma certa constância apenas em Crateús, sobretudo na altura do Cânion, permanecendo as tonalidades esverdeadas com velocidade de 7 km por hora).

A influência do cânion do rio Poti na dinâmica climática de Crateús não pode ser devidamente aprofundada no presente trabalho em função da escala metodológica adotada e dos objetivos iniciais propostos para a pesquisa, contudo, até onde se pode inferir à luz dos dados levantados é que existe uma interferência do cânion no delineamento dos padrões climáticos locais, expressa pela canalização de ventos, e conseqüente inibição da ascensão de parte das massas de ar, que tenderiam a gerar precipitações através do processo de expansão e resfriamento adiabático.

### **1) Condições Hidrográficas**

A partir do mapa dos recursos hídricos superficiais de Crateús é possível observar que praticamente toda a drenagem do município apresenta um padrão dendrítico, assumindo padrões próximos de paralelos nas áreas que drenam a superfície da cuesta da Ibiapaba e nas manchas mais expressivas dos tabuleiros interiores.

Via de regra os rios apresentam baixa amplitude altimétrica entre os interflúvios e os fundos de vale. Maiores níveis de dissecação fluvial ocorrem na porção leste do município, nas drenagens obsequentes que entalham o *front* e parte do reverso imediato da cuesta da

Ibiapaba, e nos afluentes do rio Poti, a partir do ponto em que este se sobrepõe ao relevo da Ibiapaba formando o Cânion.

As condições morfométricas impostas pelas drenagens são reflexo dos processos de evolução da paisagem em climas secos. De acordo com Souza (2000), a baixa amplitude altimétrica das depressões sertanejas deriva do pequeno entalhe dos rios semiáridos, de modo que o principal agente morfogênico atuante é a ação da pluviometria, levando a um processo de aplainamento do relevo decorrente da primazia dos processos areolares. O maior entalhe do relevo no contato entre a superfície de aplainamento e o *front* da Ibiapaba se justifica pela diferença altimétrica, que implica em maior gradiente energético no entalhe da drenagem e consequente potencialização dos processos erosivos, levando ao recuo lateral das vertentes, característicos de áreas sujeitas ao processo de pedimentação.

É possível observar, ainda, a grande quantidade de espelhos de água distribuídos principalmente sobre a Depressão Sertaneja e Planícies Fluviais. A cuesta da Ibiapaba e os tabuleiros apresentam-se como áreas praticamente vazias de açudes, fato que decorre da alta permoporosidade do material geológico dessas unidades de relevo.

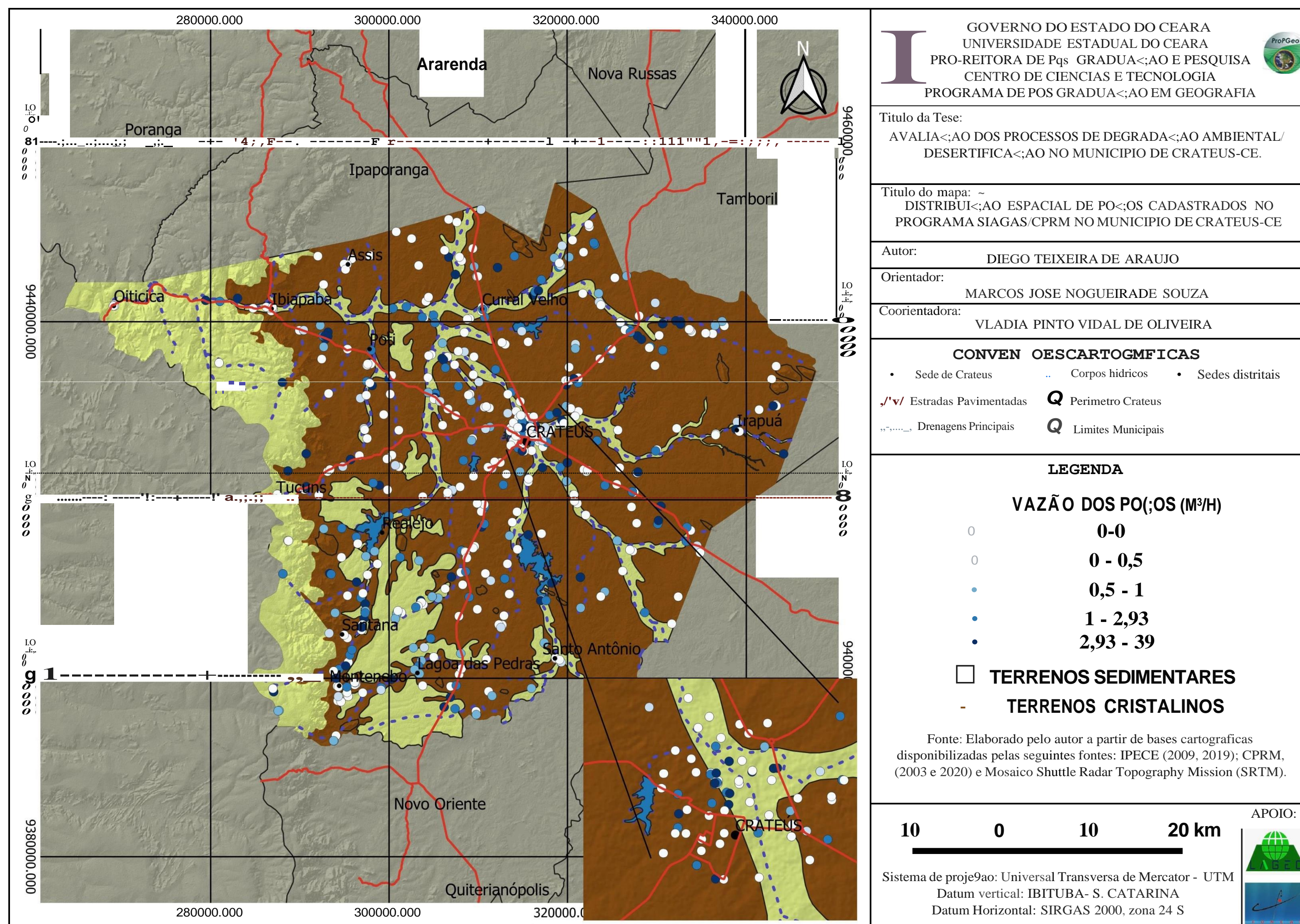


No tocante às águas subterrâneas presentes no município, é possível observar, conforme Figura 25, que a carência de recursos hídricos levou à perfuração de uma grande quantidade de poços, totalizando 878, em sua grande maioria situados sob os depósitos aluviais ou em áreas de fendas situadas próximas aos leitos dos rios.

Apesar do grande número de perfurações, Crateús apresenta um baixo potencial hidrogeológico. Mais de um terço dos poços perfurados não possuem nenhuma vazão, apenas 20% dos poços apresentam vazão superior a 3 m<sup>3</sup> por hora.

Além do clima semiárido que leva a uma baixa recarga dos aquíferos, as condições geológicas do município contribuem para o agravamento do quadro das águas subterrâneas locais. A predominância do embasamento cristalino pode ser considerada como um dos principais limitantes, uma vez que estas áreas possuem aquíferos restritos às áreas de fendas nas rochas – aquíferos fissurais.

Figura 25 - Distribuição espacial dos poços em Crateús





### 3.3 Solos e cobertura vegetal

De acordo com Pereira & Silva (2007), os solos podem ser conceituados como unidades naturais que sustentam as plantas, dotados de propriedades e características singulares, cuja origem e evolução resultam, num determinado lugar, da ação conjunta do clima, organismos vivos, material de origem, relevo e tempo, os quais se constituem nos chamados fatores de formação.

No recorte analisado foram encontradas as seguintes classes de solos: Neossolos Litólicos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Flúvicos, Argissolo Amarelo, Argissolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo, Planossolos Hápicos, e Luvisolos Crômicos (Mapa 04) (JACOMINE et al 1973).

Os Neossolos Flúvicos, segundo Pereira & Silva (2007), ocorrem de preferência em áreas de várzea, ocupando as partes marginais dos cursos d'água, onde são formados por sedimentos não consolidados, argilosos, siltosos e arenosos, oriundos de deposições fluviais quaternárias. Neles se destaca a vegetação de várzea incluindo matas-galerias e penetrações de espécies da caatinga.

Segundo Pereira & Silva (2007), são solos pouco evoluídos, de profundos a muito profundos, com perfis comumente apresentando um horizonte A sobreposto a um C quase sempre composto por uma sequência de várias camadas diferenciadas, sobretudo pela textura granulométrica e que não guardam, entre si, relações genéticas (PEREIRA e SILVA 2007).

De acordo com Souza (1981), o material de origem é sempre correlacionável à deposição dos sedimentos, assim, quanto maior é a energia fluvial, mais o calibre do material aluvial tende a ser grosseiro. À medida que o gradiente diminui e que os perfis longitudinais se mostram suavizados, as frações finas têm maior destaque.

Esses solos são encontrados espalhados ao longo de todo o município, mas possuem pouca expressividade territorial, já que as planícies fluviais de Crateús não possuem grande largura.

Quanto ao Argissolo Vermelho-Amarelo, Pereira & Silva (2007) destacam que esses solos são caracterizados por apresentarem perfis profundos e muito profundos com sequência de horizontes A, Bt e C, textura média e argilosa, sendo que o horizonte B possui acumulação de argila com teores sempre mais elevados do que em A, implicando em diferença nítida de textura entre eles. Quimicamente, são solos ácidos a moderadamente ácidos, e podem apresentar baixa ou alta fertilidade natural, sendo, assim, distróficos

(desprovidos de reservas de nutrientes), ou eutróficos (quando possuem melhores condições de fertilidade).

Sua formação é marcada essencialmente por processos de translocação de argila dos horizontes superficiais (A ou E), que se acumulam em subsuperfície, formando um B textural. (OLIVEIRA 2008).

No Ceará, eles ocupam o percentual mais elevado da área total do estado, distribuídos por muitas unidades geoambientais, tanto em relevos planos e suave ondulados (áreas de tabuleiro), quanto em relevos movimentados das áreas de serras cristalinas, onde são maioria. Nos primeiros, são comumente de baixa fertilidade natural (distróficos); nos segundos, prevalecem circunstâncias muito suscetíveis à erosão, principalmente por causa da diferença de textura entre os horizontes que dificultam a infiltração da água nos horizontes subsuperficiais e aos fortes declives do relevo (PEREIRA& SILVA 2007).

Em Crateús, essa classe de solos predomina nos setores da depressão sertaneja mais próximos do Planalto da Ibiapaba, condicionados por uma melhora dos níveis de precipitação. São formados predominantemente em rochas cristalinas pré-cambrianas (em sua maioria, granitos, granitoides e migmatitos). O recobrimento vegetal desses solos na área foco de análise deveria ser as caatingas arbóreas, no entanto, devido ao forte uso, o que se verifica é o recobrimento e o revestimento por caatingas de porte arbustivo.

Os Neossolos Litólicos, segundo Pereira & Silva (2007), são solos de fraca evolução pedológica, rasos (profundidades iguais ou inferiores a 50cm), de textura arenosa ou média normalmente cascalhenta, com drenagem de moderada a acentuada. Em geral, apresentam um horizonte A existente diretamente sobre a rocha; um horizonte R ou sobre a camada de alteração desta; horizonte C. É comum possuírem pedregosidade e/ou rochosidade na superfície, sendo ainda frequentemente encontrados associados com afloramento de rocha (Figura 26).

**Figura 26 - Neossolo Litólico**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pereira & Silva (2007) destacam que quimicamente esses solos podem ser de alta ou baixa fertilidade natural (eutróficos ou distróficos), com reação variando de fortemente ácido a praticamente neutro. Apresentam fortes limitações ao uso agrícola devido a vários fatores, como alta suscetibilidade à erosão, pedregosidade, rochosidade, pouca profundidade, falta d'água e fortes declives das áreas serranas.

Em Crateús encontram-se espalhados por toda a depressão sertaneja e pelos baixos maciços residuais, notadamente nas áreas de maior declividade do relevo. Formado sob os mais diversos litotipos, encontram-se geralmente associados a afloramentos rochosos. São recobertos predominantemente por caatinga arbustiva.

Já os Luvisolos Crômicos são solos rasos com perfis bem diferenciados do tipo A, Bt e C, de cores vermelhas ou avermelhadas, e textura argilosa média (PEREIRA & SILVA, 2007). Segundo Oliveira (2008), essa classe compreende solos exclusivamente eutróficos, com elevada saturação por bases e argila de atividade alta. Apresentam significativos teores em minerais primários facilmente intemperizáveis, e, conseqüentemente, elevadas reservas de nutrientes, especialmente K+.

São solos férteis, de moderadamente ácidos a praticamente neutros, bem dotados de forte presença de minerais primários na sua constituição, os quais se comportam como

fonte potencial de nutrientes para as plantas. Nas épocas secas, podem apresentar fendilhamentos devido à presença de argila do tipo montmorilonita, que tem a propriedade de se expandir sobre a presença de água e contrair-se na ausência dela. Estes solos possuem boa capacidade de uso para pecuária, lavouras de ciclo curto e pastagens, tendo, porém, limitações pela forte deficiência de água, pouca profundidade, presença de pedregosidade e suscetibilidade à erosão (PEREIRA & SILVA, 2007).

Ocorrem principalmente na região mais oriental do município, formam-se sob rochas cristalinas datadas do período Paleoproterozoico (granitóides, paragnaisses, ortognaisses e metagabros). São revestidos por caatingas arbustivas e arbóreas.

Com relação aos Latossolos Vermelho-Amarelo Eutróficos, estes podem ser encontrados paralelos ao *front* da cuesta da Ibiapaba, no setor correspondente ao reverso imediato. Estão presentes ao longo de toda a Ibiapaba. Nos setores mais úmidos, situados mais ao norte, são revestidos por uma vegetação Plúvio Nebular. Já na área de estudo, situada mais ao sul, esse solo se apresenta sob uma vegetação de mata seca.

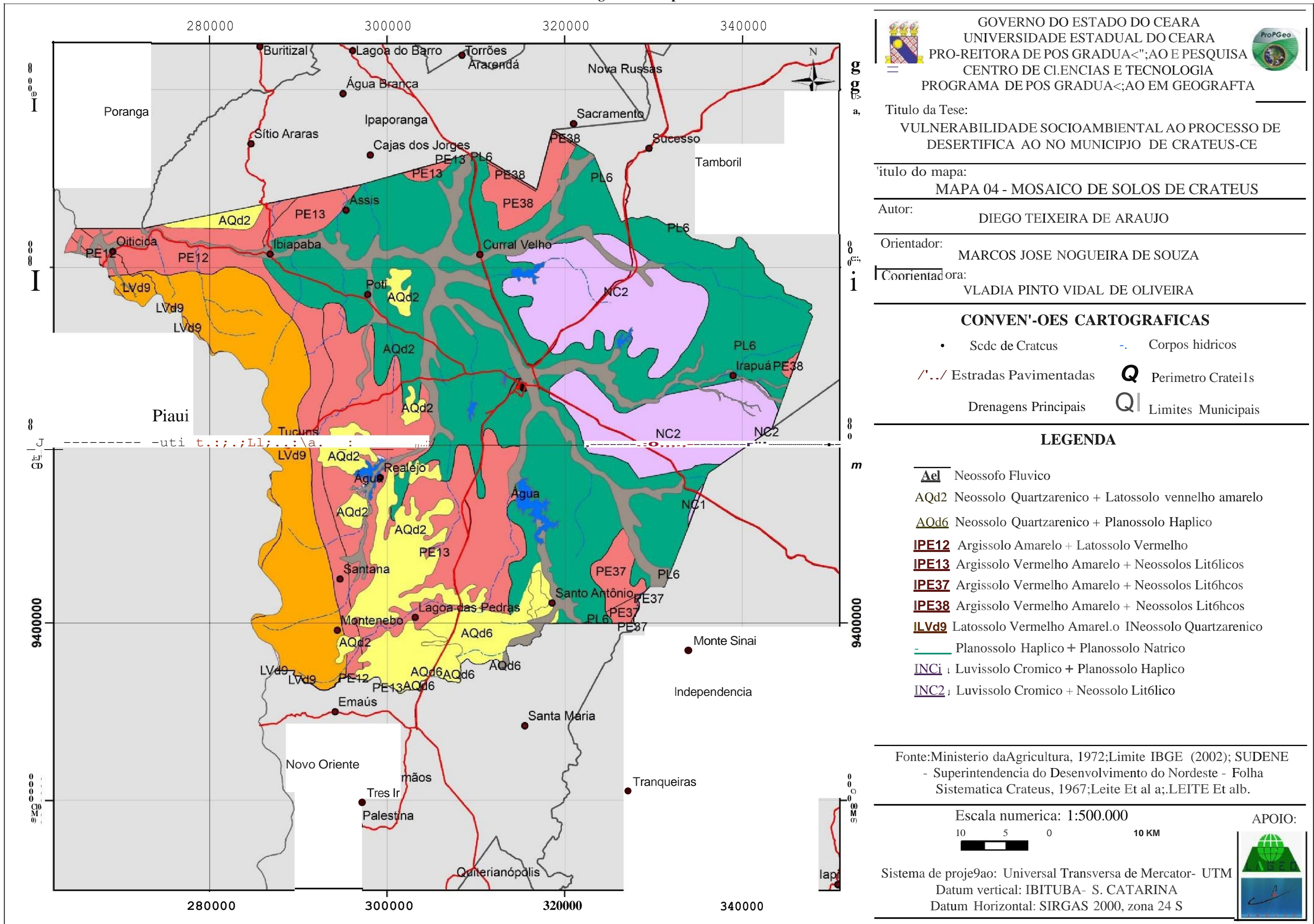
Os Latossolos, de maneira geral, são constituídos por material mineral com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer um dos tipos de horizontes diagnóstico superficiais (EMBRAPA 2006).

Os Neossolos Quartzarênicos, assim como os demais solos de sua classe, são solos pouco desenvolvidos e não apresentam horizonte B, são arenosos, constituídos essencialmente por grãos de quartzo, geralmente variam entre profundos e muito profundos, são bem drenados e possuem perfis compostos por horizontes A e C (PEREIRA & SILVA, 2007).

Na área de estudos, ocorrem no reverso seco da Ibiapaba e nos tabuleiros interiores, possuindo como base geológica a formação Serra Grande, no primeiro caso, e os depósitos correlativos dessa formação, no segundo caso. São revestidos pela vegetação de carrasco e pela caatinga.

Em decorrência do fato de serem muito arenosos, apresentam sérias limitações com respeito ao armazenamento de água disponível para as plantas. A granulometria da fração areia é bastante importante na capacidade de retenção de água por esses solos. Em geral, quando predomina a areia fina sobre a grossa há maior disponibilidade de água (OLIVEIRA 2008).

Figura 27 - Mapa de solos de Crateús



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 2) Cobertura vegetal

De acordo com IPLANCE (1997), as principais formações vegetais encontradas na área de estudo são: Mata Seca, Caatinga Arbustiva, Caatinga Arbórea, e Carrasco (Mapa 05).

A Mata Seca, segundo Pereira & Silva (2007), é uma vegetação que se caracteriza pela semi-caducifólia, em que parte das espécies perde suas folhas como forma de proteger-se dos efeitos da seca. Fernandes (2006) ressalta que esta distingue-se da caatinga pelas melhores condições ecológicas (mesofolia) e pela composição florística (embora seja enriquecida por espécies das caatingas).

Essa vegetação possui um estrato predominantemente arbóreo, podendo tender para o arbustivo, onde apresenta como espécies dominantes o Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*), o pau d'arco amarelo (*Handroanthus albus*), o pau – ferro (*Caesalpinia ferrea*), o feijão – bravo (*Capparis flexuosa*) e o coração negro (*Albizia lebeck*). O extrato herbáceo desenvolve-se apenas no período de chuvas (PEREIRA E SILVA 2007).

Sua distribuição espacial no recorte analisado se dá no setor do reverso imediato da cuesta da Ibiapaba recobrando os Latossolos Vermelho-Amarelos. Uma vez que existe uma certa semelhança fisionômica e florística, com a caatinga arbórea, muitas vezes em campo não fica clara a distinção entre essas duas formações vegetais.

## 3) Vegetação Caducifólia de Caatinga

A vegetação de caatinga é a predominante no município, ocupando o setor da depressão sertaneja e parte dos inselbergs. De uma maneira geral, essa vegetação ocupa uma área correspondente ao clima semiárido e apresenta uma série de adaptações morfológicas e fisiológicas a esse clima.

Do ponto de vista fisionômico, é possível diferenciar dois tipos de vegetação de caatinga: a caatinga arbórea, que apresenta, em geral, um melhor estado de conservação, e a arbustiva, que está presente em áreas que já sofreram as consequências dos desmatamentos (PEREIRA E SILVA 2007).

A caatinga arbórea encontra-se bastante degradada e apesar de haver uma mancha expressiva preservada na unidade de conservação da Serra das Almas, no restante do setor onde deveria prevalecer essa mata o que se verifica é uma vegetação secundária, sendo possível encontrar poucas áreas bem conservadas dessa vegetação (Figura 28).

A caatinga em um padrão fisionômico arbustivo que deveria ocupar o setor oriental do município é o que se verifica em quase todo o setor da depressão sertaneja em função da degradação da caatinga arbórea.

**Figura 28 - Caatinga arbórea**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na composição da vegetação da caatinga, pode-se diferenciar dois ou três estratos: o arbóreo, o arbustivo e o herbáceo. O extrato arbóreo está presente apenas nas superfícies de caatinga mais conservada, e tem como espécies mais representativas o pau branco (*Auxemma oncocalyx*), o angico (*Anadenanthera macrocarpa*), a aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), o pereiro (*Aspidosperma pyrifolium*), a imburana (*Commiphora leptophloeos*), o pau d'arco (*Handroanthus impetiginosus*) e o juazeiro (*Ziziphus joazeiro mart*). As espécies com maior ocorrência nos setores onde a mata já havia sido degradada são o marmeleiro e a jurema preta (*Mimosa tenuiflora*).

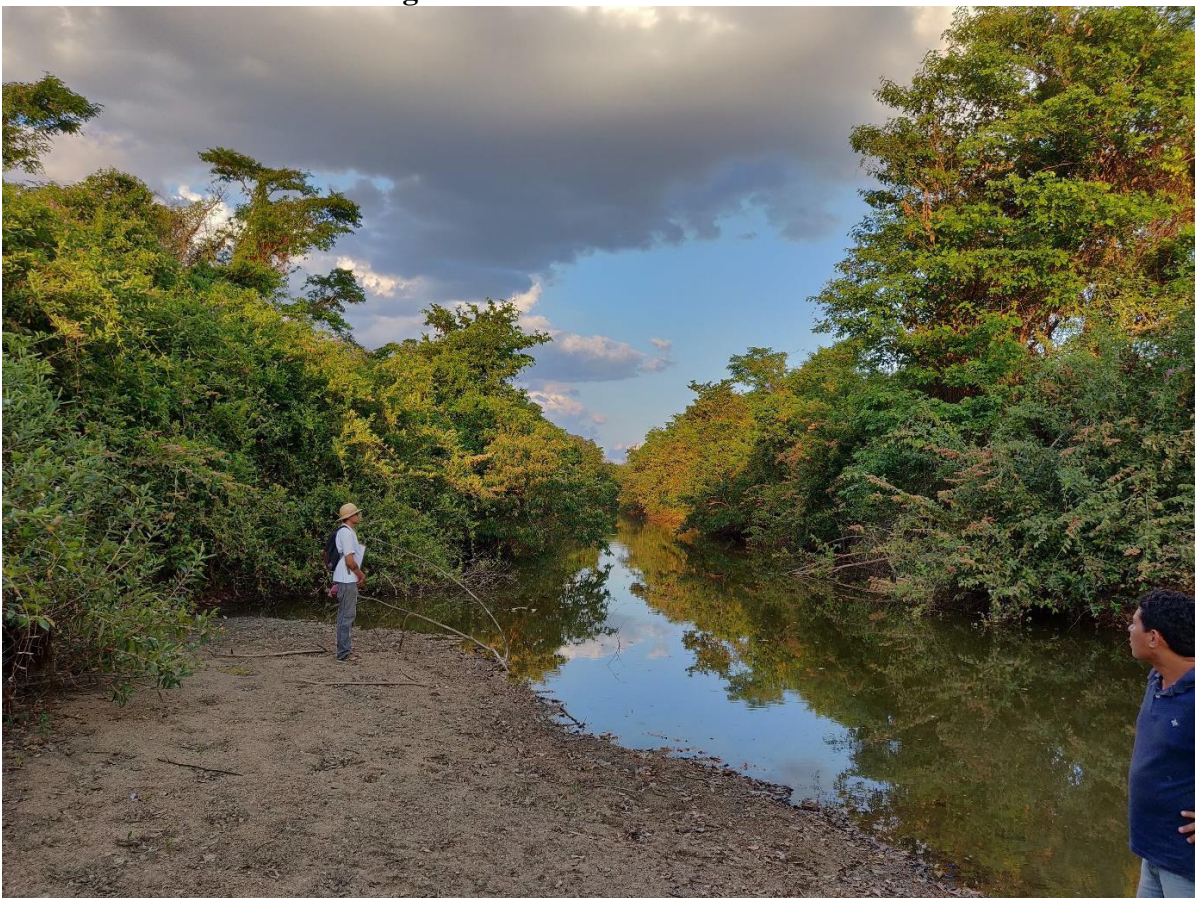
Mata ciliar – especialmente, esta possui pouca expressividade no recorte analisado. Uma vez que essa mata tem sua ocorrência condicionada pelas melhores condições de umidade favorecida pelo leito dos canais fluviais, e estes possuem leitos estreitos por se

situarem no auto curso da bacia, a ocorrência dessa mata se dá em estreitos corredores espalhados por todo o município.

Essa mata, também conhecida como mata de galeria, contrasta com a vegetação de caatinga pelo conjunto de espécies verdejantes que ocorrem em razão das melhores condições dos ambientes aluvionais. Destaca-se por sua fisionomia, em virtude da composição florística, formando uma bem distinta cobertura geral. São espécies comuns: jatobá (*Hymenaea courbaril*), cajá (*Spondias mombin*), pombeiro vermelho (*Combretum lanceolatum*), ingá (*Ingá fagiolia*), jaramataia (*Vitex gardneiriana*), carnaúba (*Copernicia prunifera*), ingá bravo (*Lonchocarpus sericeus*) (FERNANDES 2006).

No caso específico do recorte estudado, o quadro descrito acima encontra-se em apenas algumas manchas pontuais do leito, como na reserva legal do assentamento palmares (Figura 29). De um modo geral, a mata encontra-se bastante descaracterizada, de forma que quantidade considerável da planície fluvial vem sendo ocupada por espécies exóticas, prevalecendo a algaroba (Figura 30).

**Figura 29 - Mata ciliar conservada**



Fonte: Elaborado pelo autor.



**Figura 30 - Planície fluvial do rio Poti**



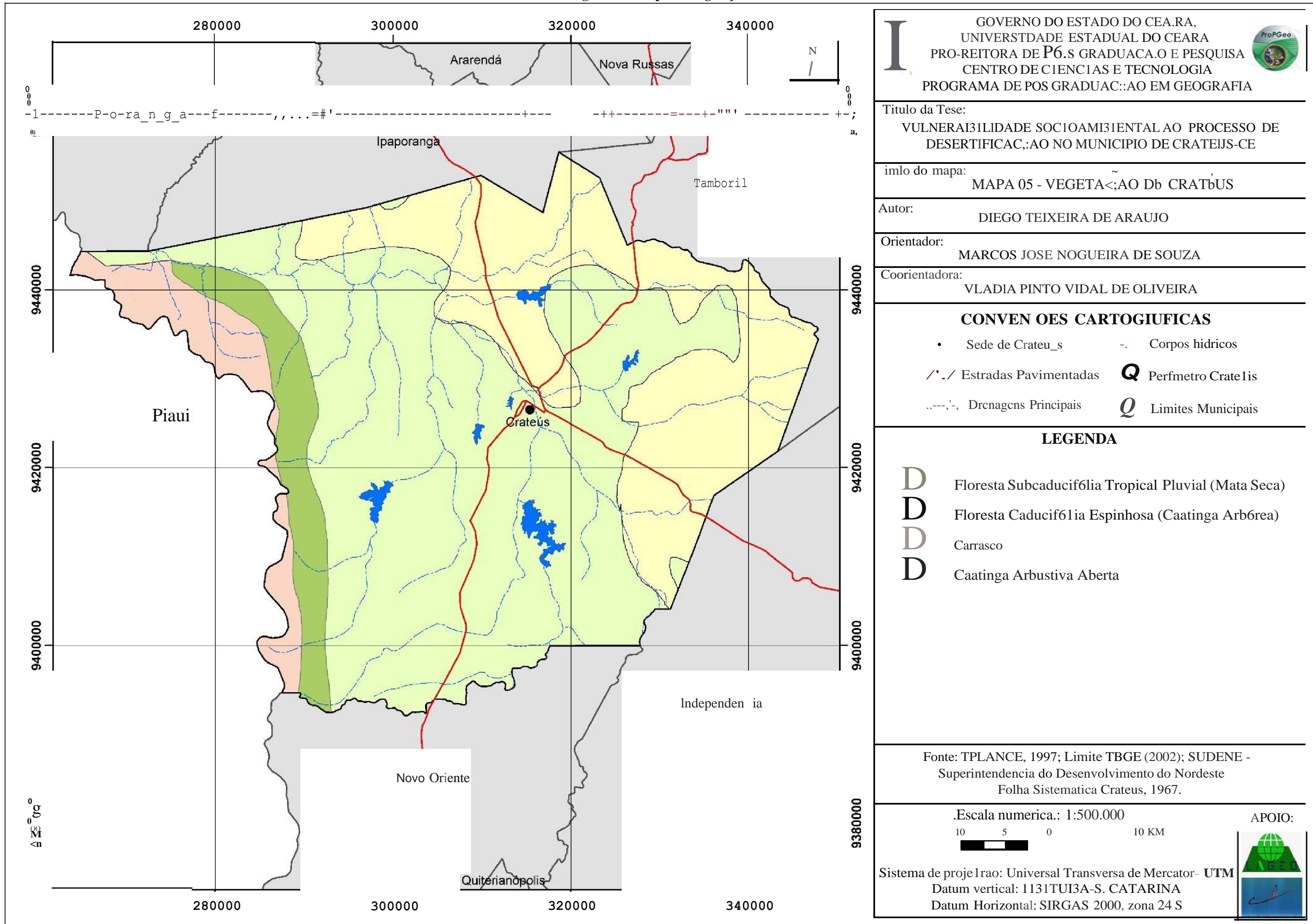
Fonte: Elaborado pelo autor.

Carrasco - esta vegetação possui uma forte semelhança com a caatinga dada sua natureza xeromorfa de sua representação fitológica, sendo visivelmente caducifólia na estação seca, e durante a estiagem lembra uma caatinga arbustiva densa. No entanto, uma série de características individualizam essa vegetação como uma unidade vegetacional própria, como a densidade de seus conjuntos de indivíduos delgados, a uniestratificação aparente e uma quase ausência de cactáceas e bromeliáceas (FERNANDES 2006).

Essa vegetação, dada sua tendência natural de ocupar regiões de solos pobres, em clima semiárido, é encontrada em Crateús no setor do reverso seco da cuesta da Ibiapaba, recobrando os Neossolos Quartzarênicos.

Como espécies mais representativas, citam-se: o cajuí (*Anacardium humile*), a carambola (*Averrhoa carambola*), o pau mocó (*Luetzelburgia auriculata*), a mimosa (*Fabacea-mimisoideae*), o visgueiro (*Parkia Pendula*) e o araticum (*Annona coriácea*) (FERNANDES 2006).

Figura 31 - Mapa de Vegetação de Crateús



Fonte: Elaborado pelo autor.

## **4 COMPARTIMENTAÇÃO DOS SISTEMAS AMBIENTAIS E DINÂMICA NATURAL**

A compartimentação dos sistemas ambientais seguiu o delineamento metodológico descrito no tópico 1.2, de modo que o critério geomorfológico foi adotado para a delimitação dos sistemas ambientais por se caracterizar como elemento de síntese da integração e interação dos componentes abióticos, bióticos e dos aspectos socioeconômicos em uma unidade de paisagem (OLIVEIRA, 2012; SOUZA, 2000; 2005). Desse modo, a categorização dos sistemas e também suas denominações foram feitas com base em topônimos do relevo ou da literatura geomorfológica (SOUZA, 2018).

O resultado da compartimentação resultou na identificação de 5 sistemas ambientais com características próprias: Planícies Ribeirinhas; Tabuleiros Interiores; Sertões de Crateús; Cristas Residuais e Inselbergs, e Planalto da Ibiapaba.

### **4.1 Planícies Ribeirinhas**

Esse compartimento ambiental ocupa uma área total de 254,47 km<sup>2</sup> totalizando um percentual de 8,5% do município. São formadas pela deposição fluvial do rio Poti e seus principais afluentes. Apresentam as mais baixas altitudes da área de estudo com cotas variando de 250 a 300 m.

Geologicamente esses ambientes correspondem aos depósitos aliviais, onde os principais sedimentos são: argilas, areias argilosas, quartzosas e quartzofeldspáticas, conglomeráticas ou não, cascalhos e argilas orgânicas / fluviais (CPRM 2003). Apresentam geomorfologia bastante plana variando de 0 a 3 graus de declividade.

Em termos de condições hidrológicas, apresentam maior disponibilidades de águas, presentes de maneira superficial em rios e açudes e subsuperficial nos lençóis freáticos presentes nos sedimentos aluviais.

Devido às melhores condições de disponibilidade de água (que é um dos maiores fatores limitantes em regiões semiáridas), associadas a boa qualidade dos solos quanto a sua fertilidade, esse ambiente é um dos que mais são submetidos à pressão antrópica em função do uso. Nas proximidades da sede de Crateús, o uso é marcado pela ocupação urbana, e na zona rural os principais usos são a pecuária, agricultura de vazante, de sequeiro e o extrativismo vegetal.

Tamanho pressão gerou ao longo de seu processo de ocupação uma intensa descaracterização de seus componentes naturais. A vegetação de mata ciliar só se encontra preservada em setores pontuais, como em alguns assentamentos rurais. Mas, de modo geral, a mata ciliar encontra-se bastante descaracterizada, com invasão de espécies exóticas de fauna como o jacaré açu (*Melanosuchus niger*) (Figura 32) e flora como a algaroba (*Prosopis juliflora*) e a unha-do-cão (*Cryptostegia madagascariensis* Bojer ex Decne. – Apocynaceae).

**Figura 32 - Registro de um jacaré açu morto e mata de algaroba ao fundo**



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Quadro 1 - Síntese da compartimentação geoambiental das Planícies Ribeirinhas**

SISTEMA AMBIENTAL: PLANÍCIES RIBEIRINHAS				
CARACTERÍSTICAS NATURAIS DOMINANTES	CAPACIDADE DE SUPORTE			RISCOS DE OCUPAÇÃO
Áreas formadas por depósitos alúvio-colúviais. Apresenta um excelente potencial hidrogeológico com recursos hídricos de fácil acesso. Os principais solos são os Neossolos Flúvicos e Planossolos. São recobertas por matas ciliares descaracterizadas pela atividade antrópica.	POTENCIALIDADES	LIMITAÇÕES	ECODINÂMICA	Degradação de mata ciliar desencadeando processos erosivos e assoreamento dos rios; Poluição dos recursos hídricos; Salinização dos solos; Inundações e cheias.
	Agroextrativismo; Recursos hídricos abundantes; Agropecuária; Mineração controlada; Agricultura irrigada; Pesca artesanal; Atrativos turísticos e de lazer.	Restrições legais associadas com matas ciliares; edáficas: drenagem imperfeita dos solos, salinização e inundações periódicas; Mineração descontrolada; Expansão urbana nos baixos terraços fluviais.	Ambiente tendendo a instável	

Fonte: Adaptado de Souza (2007); Souza Oliveira e Granjeiro (2002); Oliveira (2012) e Costa (2014)

## 4.2 Tabuleiros Interiores

Esse compartimento ambiental ocupa uma área total de 229,7 km<sup>2</sup> totalizando um percentual de 7,6% do município. Geologicamente são formados pelo processo de deposição dos colúvios provenientes da cuesta da Ibiapaba. Apresentam altitudes médias entre 300 e 400 m. Possuem uma distribuição espacial paralela ao *front* da cuesta.

Sua litologia é associada aos depósitos colúviais correlatos à formação Serra Grande, apresentando, assim, uma composição similar, constituída por cascalhos, areias e argilas. Apresentam geomorfologia variando entre plana (0 a 3 graus) a suave ondulada (3 a 8 graus), e exibem uma declividade um pouco mais acentuada nos setores de transição com a Depressão Sertaneja, e em setores entalhados pela drenagem.

Em termos de condições hidrológicas, apresentam boa disponibilidade de águas subsuperficiais em função da permoporosidade do material geológico que propicia o armazenamento de água. A drenagem superficial possui um padrão paralelo tendendo ao direcionamento Sudoeste-Nordeste, possuindo menor adensamento da drenagem do que setores com rochas cristalinas.

Os principais solos encontrados nesse ambiente são os Neossolos Quartzarênicos, que apesar de serem distróficos, possuem algumas aptidões agrícolas que influenciam diretamente o uso desse ambiente, marcado pela cultura do caju que é adequada a terrenos arenosos, e pela agricultura irrigada, que possivelmente é atraída pela facilidade de mecanização desses solos e pela disponibilidade de águas subterrâneas. Associadas a essas atividades verifica-se a presença de pecuária extensiva e agricultura de sequeiro.

As atividades desenvolvidas causam uma forte supressão da vegetação de modo a serem gerados uma significativa área com solos expostos. Apesar disso, existente nesse ambiente ainda algumas manchas de caatinga bem conservadas com porte arbóreo superior a 5 metros de altura (Figura 33).

**Figura 33 - Caatinga arbórea**



Fonte: Elaborado pelo autor.

**Quadro 2 - Síntese da compartimentação geoambiental dos Tabuleiros Interiores**

SISTEMA AMBIENTAL: TABULEIROS INTERIORES				
CARACTERÍSTICAS NATURAIS DOMINANTES	CAPACIDADE DE SUPORTE			RISCOS DE OCUPAÇÃO
Litologia sedimentar datada do período Neógeno, constituída principalmente por sedimentos areno-argilosos. Superfície tabular, conservada do ponto de vista geomorfológico apresentando um fraco entalhe da drenagem. Encontram-se como os principais solos desta área os Neossolos Quarzarenicos associados a ocasionais manchas de Latossolos Vermelho-Amarelos, ambos de baixa fertilidade natural. Apresenta uma forte degradação da vegetação natural, intercalada por áreas de caatinga arbórea bem preservada.	POTENCIALIDADES	LIMITAÇÕES	ECODINÂMICA	Riscos de poluição dos recursos hídricos e dos solos; mineração descontrolada; impermeabilização e comprometimento da recarga dos aquíferos pela expansão urbana.
	Lavouras de ciclo curto; agroextrativismo; expansão urbana; mineração controlada; materiais para construção civil; pecuária; instalação viária; águas subterrâneas.	Baixa fertilidade dos solos; deficiência hídrica durante a estiagem; inexistência de locais propícios a barramentos de rios.	Ambiente estável	

Fonte: Adaptado de Souza (2007); Souza, Oliveira e Granjeiro (2002); Oliveira (2012) e Costa (2014)



### 4.3 Sertões de Crateús

Esse compartimento ambiental ocupa uma área total de 1988,4 km<sup>2</sup> totalizando um percentual de 66,6% do município. É formada pelo processo de pediplanação que trunca indistintamente diversas litologias deixando uma extensa superfície aplainada. Apresenta altitudes que variam de 250 m, nas proximidades dos corpos hídricos, a 400 m, nas áreas mais próximas à Ibiapaba.

Geologicamente esse ambiente é formado por uma grande variedade de litologias datadas de diferentes épocas, apresentam uma grande preponderância de rochas cristalinas datadas da era Pré-cambriana. Sendo a datação da superfície muito mais recente do que a idade das rochas, a depressão sertaneja é formada através do processo de pediplanação, que atua de maneira indistinta sobre variados grupos de rochas, formando o que se constitui uma vasta superfície de aplanamento, onde se encontram dispersas as Cristas residuais e Inselbergs que se formam a partir da erosão diferencial, propiciada por uma diferente resistência aos processos erosivos de algumas rochas.

Em termos de condições hidrológicas, apresenta pouca disponibilidade de água, e apesar de possuir uma drenagem dendrítica consideravelmente ramificada, os rios são todos intermitentes ou efêmeros, onde a água flui apenas em um curto período do ano. Dada a grande predominância de rochas cristalinas, os locais apropriados para poços ficam restritos aos aquíferos fissurais.

A variada litologia desse ambiente faz com que ele possua uma rica associação de solos. A porção oeste deste compartimento é marcada por uma melhora das condições de precipitações, o que faz com que exista uma predominância dos Argissolos Vermelho-Amarelos em associação aos Neossolos Litólicos, que em tempos pretéritos eram recobertos por caatinga arbórea, e hoje só ocorrem em locais pontuais, predominando uma caatinga secundária de porte médio. Na porção leste da depressão onde a semiaridez é menos branda, os solos mais comuns são os Luvisolos, os Planossolos e os Neossolos Litólicos recobertos por caatinga já bastante degradada graças ao intensivo uso pela agropecuária.

**Quadro 3 - Síntese da compartimentação geoambiental dos Sertões de Crateús**

SISTEMA AMBIENTAL: SERTÕES DE CRATEÚS				
CARACTERÍSTICAS NATURAIS DOMINANTES	CAPACIDADE DE SUPORTE			RISCOS DE OCUPAÇÃO
Formado predominantemente por rochas paleoproterozóicas do Complexo Ceará constituído principalmente por paragnaisses e migmatitos. Superfície aplainada por processo de pediplanação; apresenta topografia rampeada com caimento topográfico suave em direção aos fundos de vales. A drenagem é intensamente ramificada com padrão dendrítico e regime intermitente sazonal. Apresenta baixo potencial hidrogeológico dada a impermeabilidade do material constituinte. Os solos predominantes são os Neossolos Litólicos em associação com Argissolos Vermelho-Amarelo Estróficos. Esse setor é recoberto predominantemente por caatinga arbustiva degradada.	<b>POTENCIALIDADES</b> Fertilidade natural alta dos solos; Silvicultura; Mineração (rochas ornamentais)	<b>LIMITAÇÕES</b> Pluviometria escassa e irregular Suscetibilidade à erosão dos solos; Afloramentos rochosos;	<b>ECODINÂMICA</b> Ambiente moderadamente instável	Desencadeamento de ações erosivas em áreas degradadas; Salinização de solos das baixadas; Empobrecimento da biodiversidade e suscetibilidade à degradação dos solos e à desertificação; Poluição dos recursos hídricos superficiais.

Fonte: Adaptado de Souza (2007); Souza, Oliveira e Granjeiro (2002); Oliveira (2012) e Costa (2014)

#### 4.4 Cristas Residuais e Inselbergs

Esse compartimento ambiental ocupa uma área total de 30,9 km<sup>2</sup> totalizando um percentual de 1,3% do município. São formadas pelo processo de erosão diferencial que desgasta as rochas mais tenras mais rapidamente (gerando a superfície aplainada da depressão sertaneja), e desgasta as rochas mais resistentes a uma menor velocidade (gerando o ressalto topográfico que caracteriza os maciços). Costuma apresentar cotas altimétricas que variam de 350 a 550 m de altitude.

Esse ambiente apresenta como principais litotipos os granitos e os migmatitos que costumam ser mais resistentes aos agentes do intemperismo que as rochas circunvizinhas, gerando os baixos maciços residuais ou inselbergs. As formas mais comuns em que se apresentam são em colinas e cristas rasas com baixa variação altimétrica entre a base e o topo do relevo, com declividade bastante elevada, geralmente superior a 45°.

Uma vez que a altimetria do relevo não é suficiente para gerar uma melhora das precipitações, esse ambiente é o mais deficiente do ponto de vista hidrológico, apresentando rios efêmeros que só escoam durante as chuvas, escassez de águas subterrâneas e inviabilidade técnica para a construção de açudes.

Os principais solos encontrados são os Neossolos Litólicos associados aos Neossolos Rególicos sendo comum também os afloramentos rochosos. A difícil mecanização dos solos, associada à deficiência hídrica e a implicações legais, faz com que o uso desse solo seja bastante reduzido, fazendo com que se encontre uma caatinga mais preservada nesses ambientes.

**Quadro 4 - Síntese da compartimentação geoambiental das Cristas residuais e Inselbergs**

SISTEMA AMBIENTAL: CRISTAS RESIDUAIS E INSELBERGS				
CARACTERÍSTICAS NATURAIS DOMINANTES	CAPACIDADE DE SUPORTE			RISCOS DE OCUPAÇÃO
Rochas neoproterozoicas constituídas predominantemente por granitos, granodioritos e quartzitos. Feições aguçadas de relevos residuais oriundos da erosão diferencial. Apresenta uma drenagem ramificada geralmente com padrão radial. Os solos predominantes são os Neossolos Litólicos associados a afloramentos rochosos e Argissolos Vermelho-Amarelos. São recobertos predominantemente por caatingas preservadas.	POTENCIALIDADES	LIMITAÇÕES	ECODINÂMICA	Erosão acelerada das vertentes em função dos desmatamentos indiscriminados e do uso de técnicas agrícolas inadequadas; Empobrecimento da biodiversidade; Assoreamento dos fundos dos vales e contaminação dos cursos d' água por agrotóxicos; Processos erosivos muito ativos.
	Média à alta fertilidade natural dos solos; Ecoturismo.	Declividade forte das vertentes; Impedimentos à mecanização; Alta suscetibilidade à erosão; Áreas protegidas pela legislação ambiental em encostas com declividades fortes.	Ambiente moderadamente instável.	

Fonte: Adaptado de Souza (2007); Souza, Oliveira e Granjeiro (2002); Oliveira (2012) e Costa (2014)

#### 4.5 Planalto da Ibiapaba

Esse compartimento ambiental ocupa uma área total de 483,77 km<sup>2</sup> totalizando um porcentual de 16,2% do município. Apresenta as mais elevadas altitudes, que variam de 450 m em seu sopé até 800 m nos patamares mais elevados do reverso imediato da cuesta.

A principal formação geológica desse relevo corresponde à camada basal da Bacia do Paranaíba, a Formação Serra Grande composta por Conglomerados e Arenitos. Apenas parte da base da escarpa é composta por rochas cristalinas. Apresenta uma morfologia cuestiforme com *front* escarpado, marcado por declividades superiores a 45° e um reverso com uma leve inclinação em direção ao Piauí com uma inclinação média de 3° a 8°.

Os padrões de drenagem são paralelos, havendo uma primazia de ocorrência de rios obsequentes na área desse ambiente pertencente a Crateús. Em termos de condições hidrológicas, apresenta uma melhora do balanço hídrico por conta da influência da altitude. É o único setor da área de estudo que não está sob influência direta do clima semiárido, possui um clima subúmido, com precipitações em torno de 722 milímetros.

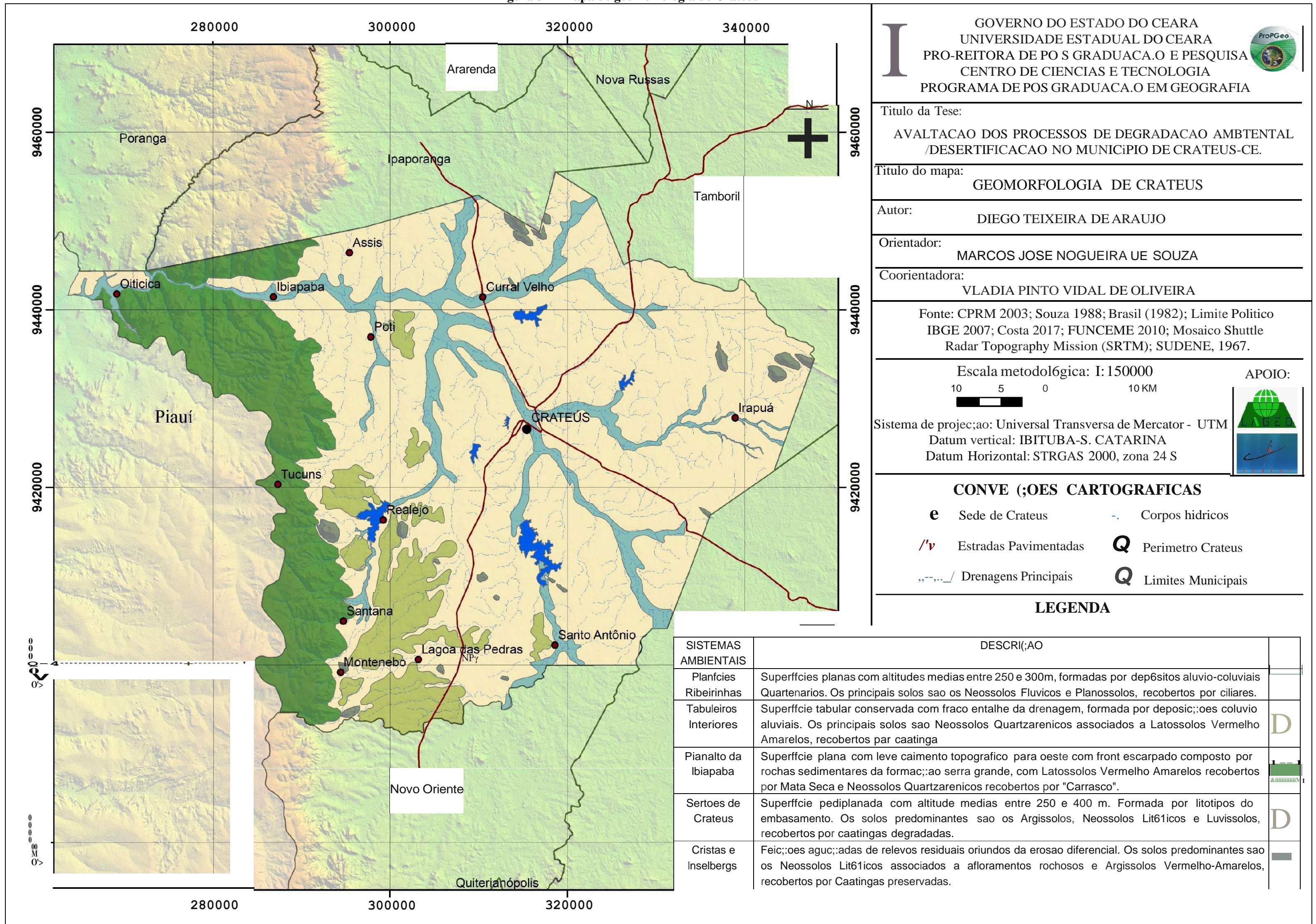
Os solos predominantes são os Latossolos Vermelho-Amarelos recobertos por mata seca e os Neossolos Quartzarênicos recobertos por vegetação de Carrasco. Os principais usos verificados em campo foram a pecuária, a extração vegetação e o plantio de culturas adaptadas a solos arenosos, como macaxeira e mandioca.

**Quadro 5 - Síntese da compartimentação geoambiental do Planalto da Ibiapaba**

SISTEMA AMBIENTAL: PLANALTO DA IBIAPABA				
CARACTERÍSTICAS NATURAIS DOMINANTES	CAPACIDADE DE SUPORTE			RISCOS DE OCUPAÇÃO
Formado por rochas paleozóicas do grupo Serra Grande constituído principalmente por conglomerados e arenitos. Superfície plana com leve caimento topográfico para oeste apresentando uma escarpa em seu setor oriental. Apresenta drenagem paralela que segue a direção do mergulho das camadas em direção ao Piauí. Os solos predominantes são os Latossolos Vermelho-Amarelos associados aos Neossolos Quartzarênicos. É recoberto por Matas Secas no reverso imediato e por Carrasco no reverso seco.	POTENCIALIDADES	LIMITAÇÕES	ECODINÂMICA	Desmatamentos indiscriminados conduzem ao aumento da lixiviação e empobrecimento dos solos; Riscos de contaminação química dos solos e dos recursos hídricos por agrotóxicos; Desmatamentos têm comprometido seriamente a biodiversidade primária.
	Relevo plano ou suave ondulado; Solos profundos; Pluviometria com chuvas mais regulares; Geoturismo; Conservação de sítios arqueológicos.	Solos com baixa fertilidade natural; Escassez de recursos hídricos superficiais; Grande profundidade do lençol freático.	Ecodinâmica estável no reverso imediato da cuesta e instável na região do <i>front</i> .	

Fonte: Adaptado de Souza (2007); Souza, Oliveira e Granjeiro (2002); Oliveira (2012) e Costa (2014)

Figura 34 - Mapa de geomorfologia de Crateús



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5 CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA DE CRATEÚS

### 5.1 Fatores sociais condicionantes do processo de desertificação

Foram considerados fatores condicionantes do processo de desertificação, atributos socioespaciais, que, por si só, não implicam necessariamente em uma pressão direta sobre os recursos naturais locais, mas que atuam como fatores que conduzem a maiores disposições a esses processos.

#### 5.1.1 Densidade demográfica

A densidade demográfica é um importante condicionante para o avanço dos processos de desertificação, uma vez que quanto maior o número de indivíduos concentrados em uma dada região, maior tende a ser a necessidade de explorar os recursos naturais existentes, o que pode levar à degradação ambiental e, assim, à desertificação.

De acordo com Benassi (2020), tais processos de degradação estão geralmente ligados à exploração massiva da água e do solo, mudanças no uso da terra causando fragmentação da paisagem e degradação dos serviços básicos do ecossistema e externalidades negativas das atividades econômicas (TANRIVERMIS, 2003; CARR, SUTER e BARBIERI, 2005; ATIS, 2006).

A fim de obter melhor compreensão acerca da distribuição da população em Crateús e as diferentes densidades demográficas locais, foi confeccionado o mapa de densidade demográfica de Crateús (Figura 35), através do cruzamento dos dados referentes ao número total de habitantes de cada setor censitário e suas respectivas áreas, calculada em ha<sup>2</sup> (Quadro 6).

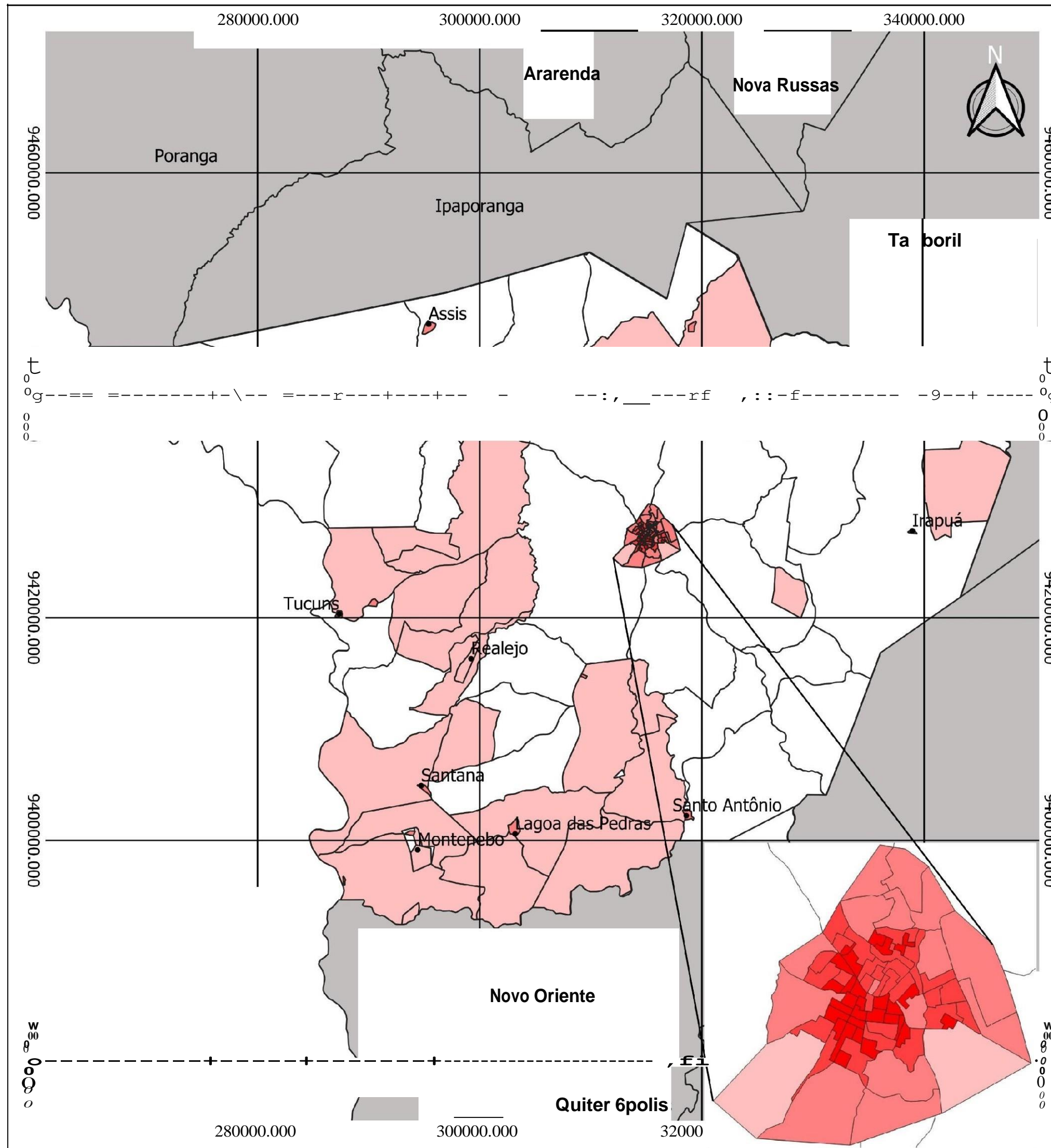
**Quadro 6 - Variáveis utilizadas para calcular as classes de densidade demográfica de Crateús**

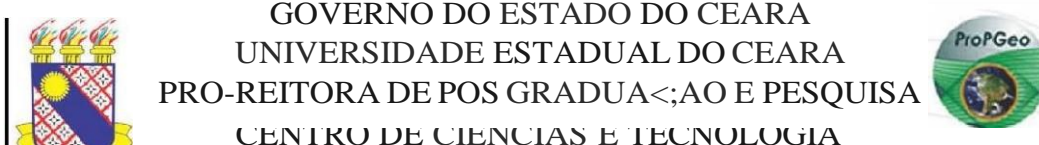
VARIÁVEL	CÁLCULO DA VARIÁVEL	DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ORIGEM
Densidade demográfica	Pessoas residentes nos setores / área do setor	6.16 Arquivo Idade, total (planilha Pessoa13_UF.xls ou Pessoa13_UF.csv) V 001 - Pessoas residentes em domicílios particulares e domicílios coletivos Área dos setores (SHP)

Fonte: Elaborado pelo autor.



Figura 35 - Mapa de densidade demográfica de Crateús





GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
PRO-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

---

**Título da Tese:**  
INDICADORES DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CRATEÚS - UMA ABRORDAGEM SISTEMÁTICA PALESTRADA NO DPSTR E NA ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA.

---

**Título do mapa:**  
DENSIDADE DEMOGRÁFICA DE CRATEÚS

---

**Autor:** DIEGO TEIXEIRA DE ARAUJO

---

**Orientador:** MARCOS JOSÉ NOGUEIRA DE SOUZA

---

**Coorientadora:** VLADIA PINTO VIDAL DE OLIVEIRA

---

**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

• Sede de Crateús	- - - - - Corpos hídricos	• Sedes dos Distritos
/// Estradas Pavimentadas	Q Perímetro Crateús	
--- Drenagens Principais	Q Limites Municipais	

---

**LEGENDA**

**Densidade Demográfica**

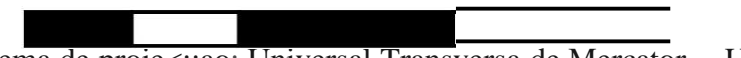
D <sub>0</sub>	- 0,071
D	0,071 - 4,208
D	4,208 - 23,498
-	23,498 - 68,58
-	68,58 - 173,655

---


Fonte: Elaborado pelo autor com dados do IBGE (2010 e 2019)

---

**10      0      10      20 km**



**APOIO:**



Sistema de projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
Datum vertical: IBITUBA- S. CATARINA  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000, zona 24 S

Fonte: Elaborado pelo autor.

Através da visualização do mapa, fica bastante claro que em Crateús a espacialização da população se dá bastante condicionada pelas diferentes potencialidades dos sistemas ambientais presentes no município.

O principal sistema ambiental a polarizar a ocupação da população são as Planícies Fluviais. Uma vez que esse ambiente apresenta maiores disponibilidades de recursos hídricos superficiais e subsuperficiais, em relação às áreas de entorno, existe uma natural tendência de concentração de pessoas atraídas pela melhor disponibilidade hídrica. Das treze áreas com aglomerações de pessoas suficientes para serem entendidas pelo IBGE como manchas urbanas, oito delas (Oiticica, Curral Velho, Ibiapaba, Realejo, Irapuá, Santo Antonio, Poti, e a Sede de Crateús) estão situadas total ou parcialmente sobre as Planícies Fluviais.

O segundo sistema ambiental que possui maior densidade demográfica são os tabuleiros interiores. É possível observar no mapa acima, que os tabuleiros possuem razoável adensamento populacional para os padrões da zona rural, formando uma mancha vermelha-clara na porção sudoeste do mapa de densidade demográfica, que se distribui em conformidade com sua abrangência espacial.

A partir de observações de campo, foi possível constatar que o padrão de ocupação dos tabuleiros possui uma distribuição desigual entre o topo e o sopé. No topo existem poucas residências e um menor uso da terra, de modo a apresentar vários setores com uma caatinga moderadamente preservada de porte arbóreo. Na região do sopé e na depressão sertaneja circunvizinha ao tabuleiro existe um adensamento da população e um forte uso dos solos, de modo a apresentar uma vegetação completamente descaracterizada, com forte presença de áreas de agropecuária e solos expostos.

A Ibiapaba possui o importante atrativo do melhoramento dos níveis de precipitação, potencializados por menores temperaturas, condicionando menores níveis de evapotranspiração. A elevada facilidade da percolação das águas superficiais geradas pelos solos ricos na fração areia (Latosolos e Neossolos Quartzarênicos), e pela porosidade do embasamento geológico (Arenito Serra Grande), gera uma fraca incidência de recursos hídricos superficiais. Em função desse balanço entre potencialidades e limitações, a Ibiapaba torna-se o terceiro sistema mais ocupado do município.

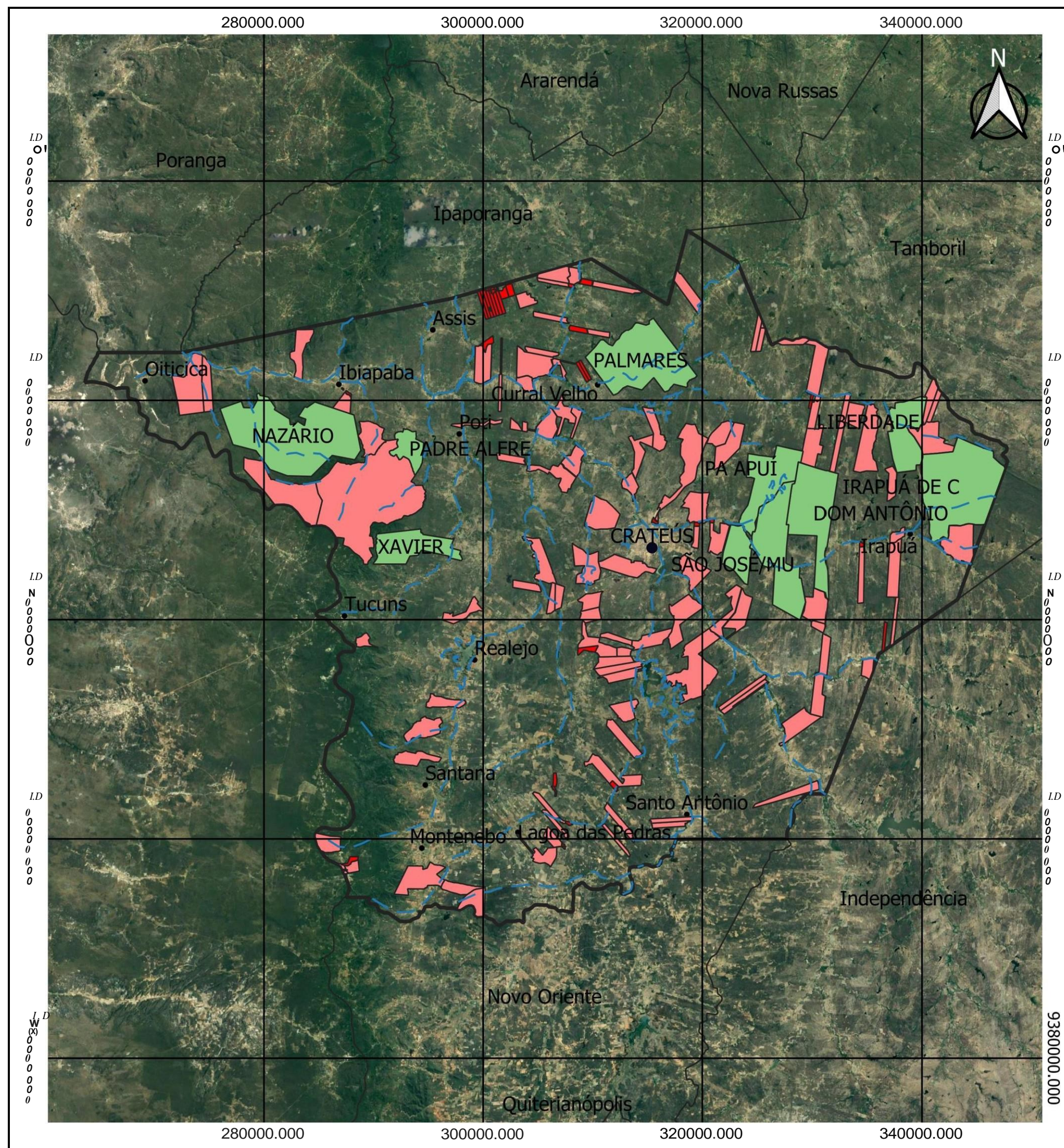
A depressão sertaneja apresenta uma série de limitações associadas à pouca disponibilidade de recursos hídricos superficiais e subsuperficiais ocasionando um baixo índice de atratividade aos assentamentos humanos, de modo que as aglomerações populacionais desse ambiente são mais condicionadas pelas características ambientais dos sistemas vizinhos.

As Cristas residuais e Inselbergs são os sistemas que apresentam muito pouco ou nenhum tipo de ocupação humana, fato explicado pela quase ausência de potencialidades para a ocupação humana, e elevado risco de acidentes com movimentos de massa diversos.

#### 5.1.2 Concentração fundiária

O mapa de concentração fundiária foi construído através dos dados disponibilizados pelo INCRA e foram categorizados de acordo com o estatuto da terra de 1964. Dessa forma, foram considerados minifúndios as propriedades com área inferior ao módulo fiscal calculado para o município de Crateús, que é 80 ha. Ainda de acordo com o estatuto, para uma propriedade ser considerada latifúndio, ela tem que ser 600 vezes maior que o módulo do município onde está situada, de modo que só foram consideradas como latifúndios as propriedades com área igual ou superior a 48000 ha; as propriedades que ficaram situadas entre essas duas classes foram consideradas como propriedades médias; os assentamentos foram considerados como uma categoria à parte, por pertencerem a várias famílias. A representação cartográfica dessas classes resultou no mapa de estrutura fundiária de Crateús (Figura 36).

Figura 36 - Mapa da estrutura fundiária de Crateús



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
 UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
 PRO-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
 CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



Titulo da Tese:  
 INDICADORES DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CRATEÚS - UMA ABRORDAGEM SISTEMÁTICA PAUTADA NA ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA.

Titulo do mapa:  
 ESTRUTURA FUNDIÁRIA DE CRATEÚS -CE

Autor:  
 DIEGO TEIXEIRA DE ARAUJO

Orientador:  
 MARCOS JOSÉ NOGUEIRA DE SOUZA

Coorientadora:  
 VLADIA PINTO VIDAL DE OLIVEIRA

- CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**
- Sede de Crateús
  - Sedes distritais
  - Corpos hídricos
  - /— Estradas Pavimentadas
  - Q Perímetro Crateús
  - , —, — Drenagens Principais
  - Q Limites Municipais

**LEGENDA**

- 0-80**
- D 80 -48000**
- D >48000**
- ASSENTAMENTOS RURAIS**

Fonte: Elaborado pelo autor com dados do INCRA (2020) e IPECE (2019)

10 0 10 20 km

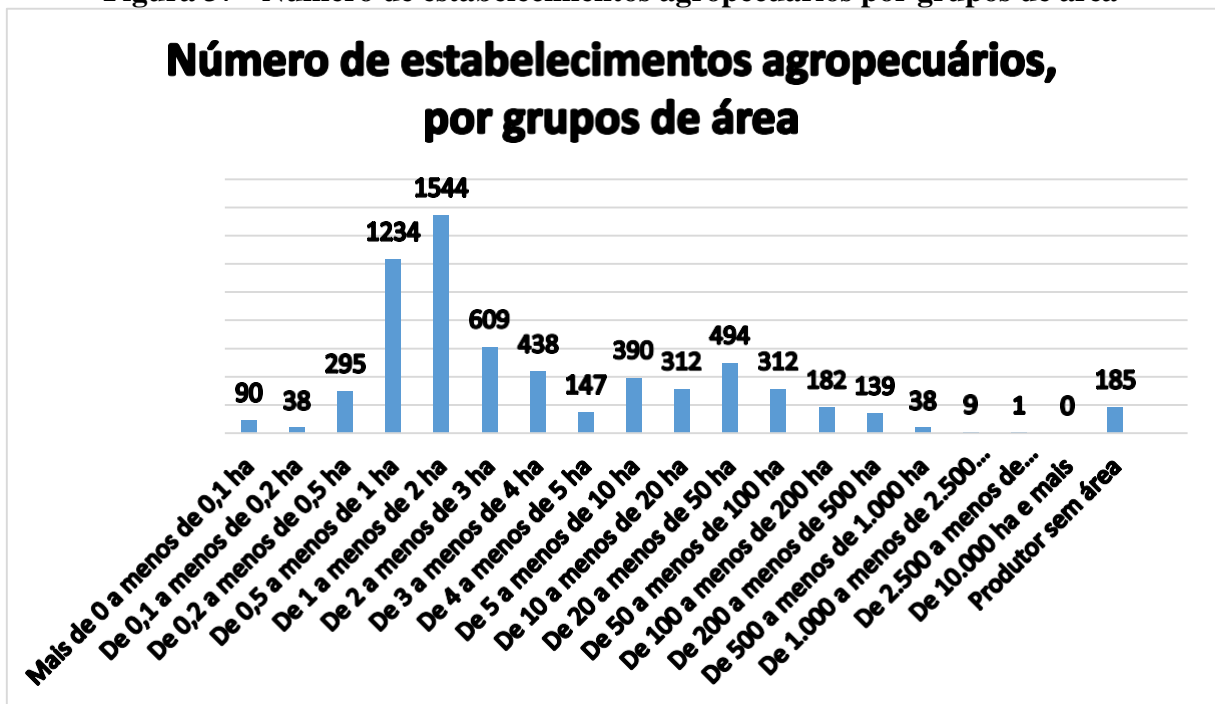
Sistema de projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
 Datum vertical: IBITUBA- S. CATARINA  
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, zona 24 S

APOIO:

Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez que o credenciamento obrigatório das fazendas junto ao INCRA é razoavelmente recente, existem várias lacunas quanto à real cartografia das propriedades rurais de Crateús. Desse modo, buscou-se complementar a análise da estrutura fundiária com a confecção do gráfico dos estabelecimentos agropecuários por grupos de área (Figura 37).

**Figura 37 - Número de estabelecimentos agropecuários por grupos de área**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do censo agropecuário de 2017 (IBGE, 2017).

Complementando as duas representações gráficas, é possível visualizar que Crateús não apresenta uma concentração fundiária tão grande quanto outros municípios do Ceará. Apresentando uma quantidade bastante expressiva de propriedades rurais de porte médio, 10 assentamentos rurais e nenhum latifúndio, Crateús apresenta um quadro fundiário favorável em detrimento de vários municípios do interior do estado.

Mesmo apresentando uma condição fundiária razoavelmente favorável, ainda se apresentam problemas sérios quanto à questão agrária do município. O fato de não haver latifúndios está mais ligado ao fato de o estatuto da terra ser uma legislação arcaica, remanescente da ditadura civil militar, do que pela real ausência de propriedades de tamanhos desproporcionais a necessidades de seus donos. O município apresenta 48 propriedades rurais com tamanhos superiores a 500 ha (tamanho que seria considerado latifúndio em vários países).

Somando-se à concentração de terras, existe um razoável adensamento populacional, o que gera um quadro em que uma série de propriedades rurais possuem

tamanho inferior ao que seria necessário para a subsistência dos agricultores, sem exceder a capacidade de suporte da terra. De acordo com dados do Censo Agropecuário de 2017, existem 5.097 propriedades com tamanhos inferiores a 20 ha (equivalente a ¼ do tamanho do módulo rural).

Um importante aspecto da estrutura fundiária de Crateús é a forte atração exercida pelos canais fluviais no arranjo espacial das fazendas. A maior parte das fazendas se encontra margeando os canais fluviais, levando uma primazia de minifúndios. As propriedades médias e grandes também ocupam prioritariamente a margem dos canais fluviais. O alto valor de parcelas de terras situadas próximas aos leitos de rios leva a uma disposição espacial de pequenas áreas margeando os rios e áreas maiores que se estendem em direção às Depressões Sertanejas, em grande parte dessas propriedades.

### 5.1.3 Pobreza

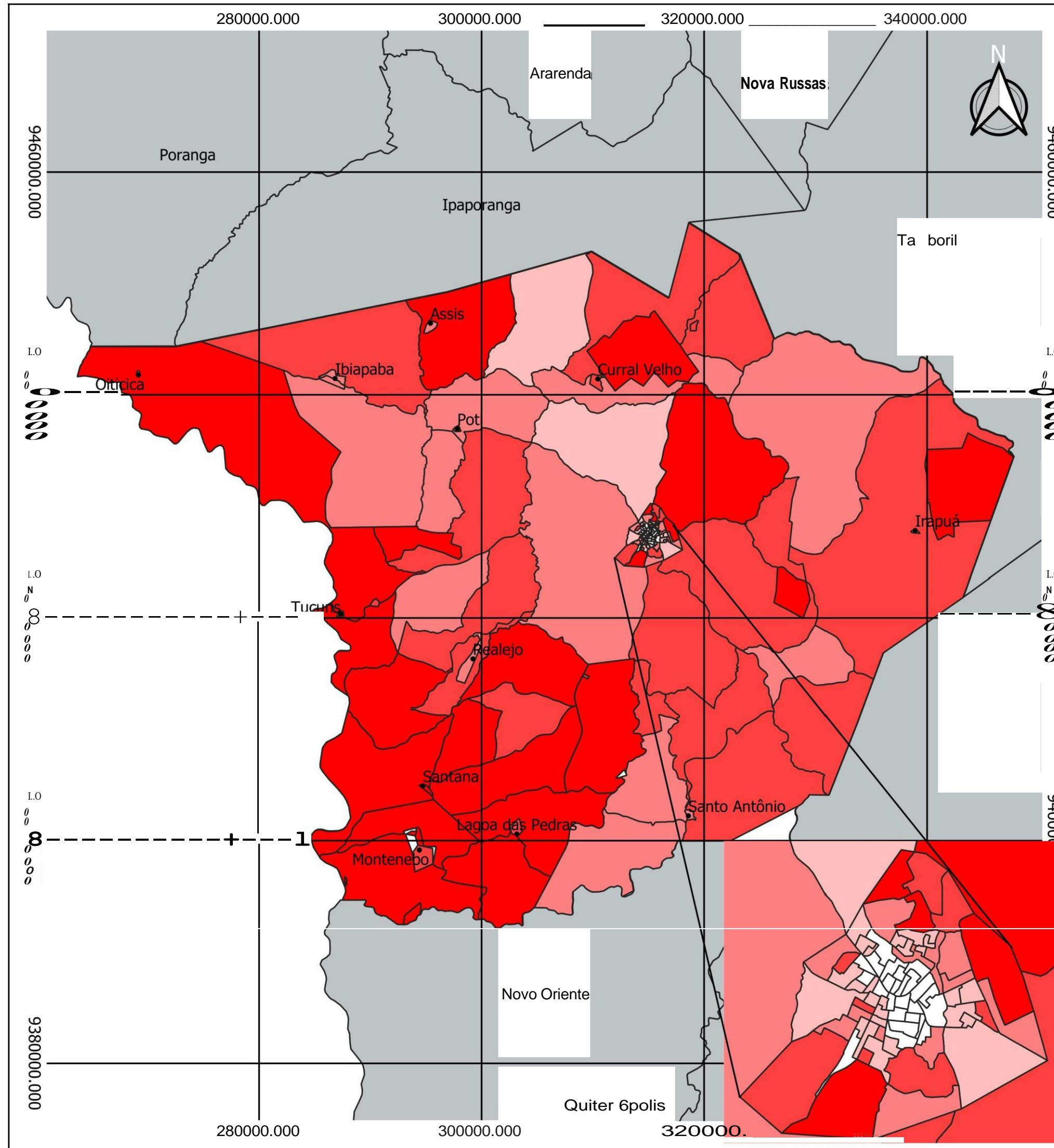
A análise da concentração espacial das famílias hipossuficientes economicamente foi feita com base nos dados do censo demográfico de 2010 (IBGE, 2010). Tomando como escala de análise os setores censitários, foi realizado o somatório das famílias que ganham até meio salário mínimo em cada setor. O referido valor foi dividido pelo número total de domicílios presentes em cada setor e multiplicado por 100 a fim de apresentar o resultado em porcentagem.

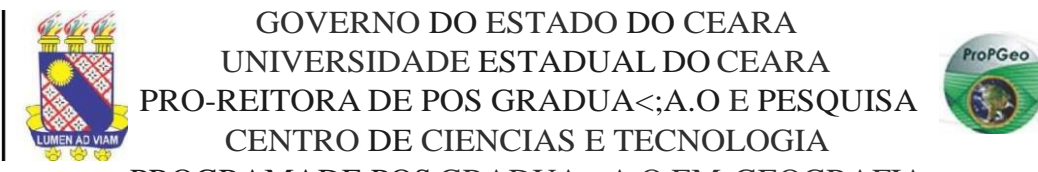
**Quadro 7 - Variáveis utilizadas para as classes de vulnerabilidade econômica de Crateús**

VARIÁVEL	CÁLCULO DA VARIÁVEL	DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ORIGEM
% dos domicílios que vivem com meio salário ou menos.	Somatório das famílias que ganham até meio salário mínimo dividido pelo número total de domicílios multiplicados por 100.	6.2 Arquivo Domicílio, características gerais (planilha Domicilio01_UF.xls ou Domicilio01_UF.csv) V 002 Domicílios particulares permanentes  6.19 Arquivo Renda dos Domicílios (planilha DomicílioRenda_UF.xls ou DomicílioRenda_UF.csv) V005 Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1/8 salário mínimo V 006 Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/8 a 1/4 salário mínimo V007Domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 1/4 a 1/2 salário mínimo V 14 Domicílios particulares sem rendimento nominal mensal domiciliar per capita

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 38 - Distribuição espacial da pobreza




 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
 UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
 PRO-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA  
 CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
 PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Título da Tese:  
 AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CRATEUS-CE.

Título do mapa:  
 PORCENTAGEM DE LARES CUJOS CHEFES DE FAMILIA GANHAM MENOS DE MEIO SALÁRIO

Autor: DIEGO TEIXEIRA DE ARAUJO

Orientador: MARCOS JOSE NOGUEIRA DE SOUZA

Coorientadora: VLAFIA PINTO VIDAL DE OLIVEIRA

- CONVENÇÕES CARTOGRAFICAS**
- Sede de Crateus
  - Corpos hídricos
  - Sedes distritais
  - Estradas Pavimentadas
  - Q Perímetro Crateus
  - Drenagens Principais
  - Q Limites Municipais

**LEGENDA**


- D 0 - 39,7
- D 39,7 - 57,6
- D 57,6 - 67,3
- 67,3 - 75,8
- 75,8 - 88,1

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases cartográficas disponibilizadas pelo IPECE (2009, 2019) e dados do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010).

10 0 10 20 km

Sistema de projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
 Datum vertical: IBITUBA- S. CATARINA  
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, zona 24 S

APOIO:



Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição das famílias de baixa renda em Crateús apresenta claro contraste entre zonas rurais e urbanas. Enquanto as zonas urbanas apresentam um baixo índice de famílias que ganham até meio salário mínimo (com algumas exceções, como os setores periféricos da sede de Crateús), os setores da zona rural estão situados quase todos em classes que apresentam porcentagens superiores a 50 % das residências ganhando menos de meio salário mínimo. Além disso, há um total de 17 setores em que menos de 25% das residências vivem com mais de meio salário mínimo.

As planícies fluviais abrigam os setores censitários com menor proporção de pessoas com baixos salários. Isso é explicado, principalmente, pelo fato de a maior parte das áreas urbanas estarem situadas sob esse ambiente, além da tendência de áreas urbanas concentrarem mais renda que as áreas rurais; contudo, é possível verificar uma correlação espacial entre um melhor nível de renda nos setores na zona rural e a presença de planícies fluviais (como no caso dos dois setores situados na porção norte do município).

Os setores censitários que possuem elevada abrangência espacial na Ibiapaba e nos Tabuleiros Interiores apresentam, em sua maioria, elevados percentuais de famílias economicamente hipossuficientes, apresentando de 75 a 88,1 % das residências com renda inferior a meio salário mínimo. Os setores situados na Depressão Sertaneja apresentam porcentagens intermediárias de residências que ganham menos de meio salário, mas vale ressaltar que dificilmente os setores censitários englobam apenas a Depressão Sertaneja, sem abranger um segmento de Planície Fluvial. Os poucos setores que não são cortados por planícies fluviais são marcados por percentuais acima de 75% de domicílios que vivem com menos de meio salário, levando a entender que as depressões são ocupadas por uma população de baixa renda.

A pouca expressividade espacial das Cristas residuais e Inselbergs e o pouco adensamento populacional tornam a análise da renda dos que ali habitam inviável.

As implicações da distribuição espacial das famílias com menor poder aquisitivo enquanto uma força motriz do processo de desertificação se dá em função de maiores concentrações de pobreza conduzirem a uma maior tendência da exploração dos recursos naturais para a subsistência. Entende-se que as famílias pobres tendem a usar mais a madeira da caatinga como matriz energética, e praticar mais a caça como forma de obtenção de proteína animal.

De acordo com o PAE-CE, a pobreza apresenta uma relação bicausal com a desertificação. Nessa perspectiva, o processo de desertificação atua simultaneamente como agente causador da pobreza e também uma consequência dessa. À medida que a



desertificação compromete atributos naturais necessários à produtividade agrícola, como a fertilidade do solo, a qualidade e a disponibilidade dos recursos hídricos, existe uma perda de produtividade das culturas, da quantidade de terra arável, o que se reflete na produção de alimentos nutritivos para a subsistência e para a comercialização. Acentuam-se, dessa forma, os problemas sociais como desemprego, baixo nível de renda e êxodo rural, e agrava-se a condição de pobreza. A pobreza, por sua vez, potencializa o mau uso dos recursos disponíveis, o desmatamento, e a prática de atividades alternativas, como o extrativismo vegetal e mineral, contribuindo para a manutenção dos baixos níveis educacionais e agindo como um catalisador para os processos de degradação ambiental (CEARÁ, 2010).

No atual cenário de crescente inflação dos produtos básicos, há um agravamento do potencial da pobreza como uma força motriz para a desertificação: o aumento expressivo do gás leva a um maior uso da lenha e do carvão para cozinhar, e o aumento da carne, um fator agravante para o aumento da caça e da pesca. O consumo de animais silvestres além de levar a extinção de espécies, pode gerar algo ainda mais grave, como o surgimento de novas doenças, que eram particulares apenas a outras espécies, nos seres humanos, como o caso do vírus causador da atual pandemia mundial do novo coronavírus.

#### 5.1.4 Educação

A educação em áreas rurais é um dos mais importantes aliados no combate à desertificação. A bibliografia disponível aponta uma correlação entre melhorias na educação e uma melhor gestão ambiental por parte dos agricultores. Em estudo realizado na Tanzânia, verificou-se que os investimentos em educação foram associados à maior adoção de medidas de conservação do solo (TENGE, GRAAFF e HELLA, 2004). Bryan et al. (2009) descobriram que o acesso à informação foi o facilitador proeminente da adaptação às mudanças climáticas na Etiópia.

A educação exerce um papel relevante como importante condicionante para o sucesso ou fracasso de políticas públicas de combate à desertificação. Na região do Mediterrâneo, por exemplo, a falta de conhecimento foi considerada uma barreira significativa para a implementação de programas de reabilitação do solo (REICHARDT, 2010).

A fim de obter melhor compreensão acerca dos padrões espaciais da escolarização da população em Crateús, foi utilizado como parâmetro de análise a porcentagem de analfabetos com 5 ou mais anos de idade por setor censitário. Para o cálculo desse indicador,

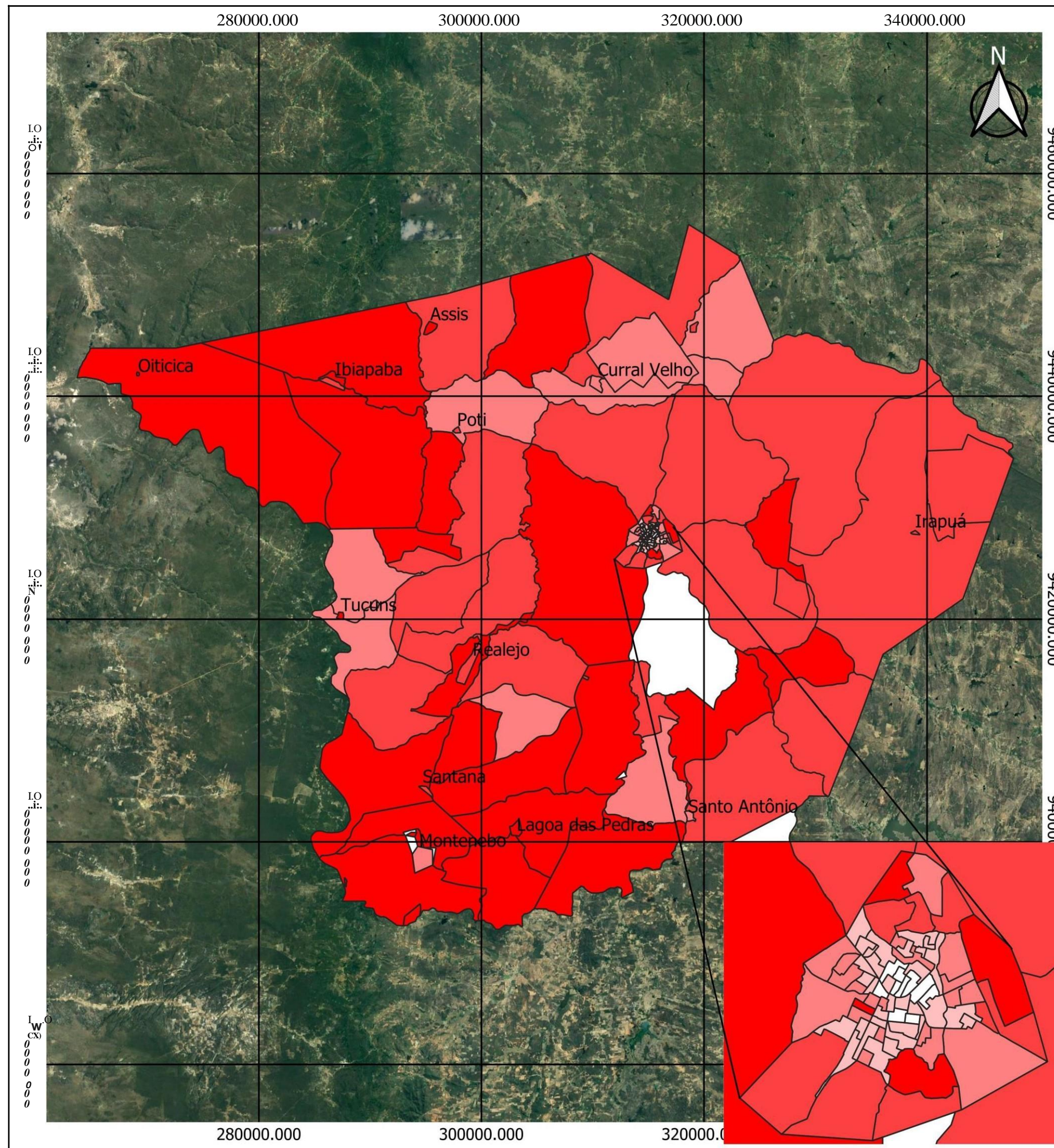
foi utilizada a base de dados do censo demográfico de 2010. Tomando como escala de análise os setores censitários, foi realizado o somatório das pessoas com 5 ou mais anos de idade de cada setor censitário, o referido valor foi subtraído do número de pessoas alfabetizadas, chegando ao número de analfabetos na referida faixa etária. Em seguida, foi calculada a porcentagem de pessoas analfabetas dividindo-se o número de analfabetos pelo número total de pessoas e multiplicou-se esse resultado por 100, chegando ao valor percentual de pessoas analfabetas com 5 ou mais anos de idade (Quadro 8).


**Quadro 8 - Variáveis utilizadas para calcular as classes de escolaridade de Crateús**

VARIÁVEL	CÁLCULO DA VARIÁVEL	DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ORIGEM
Educação	(Somatório das pessoas com 5 ou mais anos de idade subtraído pelo número de pessoas alfabetizadas) / (somatório de pessoas com 5 ou mais anos de idade) *100	6.6 Arquivo Alfabetização, total (planilha Pessoa01_UF.xls ou Pessoa01_UF.csv) V001 - Pessoas alfabetizadas com 5 ou mais anos de idade 6.16 Arquivo Idade, total (planilha Pessoa13_UF.xls ou Pessoa13_UF.csv) V 029 a 134 – soma dos grupos de pessoas por idades superiores a 5

Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 39 - Distribuição espacial de pessoas não alfabetizadas em Crateús




 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
 UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
 PRO-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA  
 CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
 PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Título da Tese:  
 AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/  
 DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CRATEÚS-CE.

Título do mapa:  
 PORCENTAGEM DE NÃO ALFABETIZADOS ENTRE  
 A POPULAÇÃO COM SEIS ANOS OU MAIS

Autor: DIEGO TEIXEIRA DE ARAUJO

Orientador: MARCOS JOSÉ NOGUEIRA DE SOUZA

Coorientadora: VIVIANA PINTO VIDAL DE OLIVEIRA

**CONVENÇÕES CARTOGRAFICAS**

- Sede de Crateús
- Corpos hídricos
- Sedes distritais
- .-.- Estradas Pavimentadas
- Q Perímetro Crateús
- .-.- Drenagens Principais
- Q Limites Municipais

**LEGENDA**


D 0-14  
 D 14-32  
 D 32- 50  
 - 50-62  
 - 62 - 100

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de bases cartográficas disponibilizadas pelo IPECE (2009, 2019) e dados do Censo Demográfico de 2010 (IBGE, 2010).

10 0 10 20 km

Sistema de projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
 Datum vertical: IBITUBA- S. CATARINA  
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, zona 24 S

APOIO:



Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição espacial das pessoas alfabetizadas é mais bem explicada pela dicotomia rural e urbano do que pela distribuição espacial dos sistemas ambientais. Os menores índices de analfabetismo são encontrados nas áreas urbanas mais centrais da sede de Crateús. Os demais setores urbanos e quase todos os rurais são marcados por níveis de alfabetização intermediários a muito baixo.

Os sistemas ambientais onde se concentram os setores com maior percentual de analfabetos são: Ibiapaba e Tabuleiros Interiores. Com exceção da circunvizinhança dos distritos de Tucuns e Montenebo, os setores censitários que se localizam nesses ambientes apresentam uma porcentagem de analfabetos que varia em torno de 78 a 100 %. Nos demais sistemas, existe uma certa heterogeneidade entre os percentuais de analfabetos, havendo uma tendência a níveis de analfabetismo considerados intermediários para os padrões do município (variando de 44 a 60% de analfabetos).

## **5.2 Indicadores de pressão**

Foram consideradas como indicadores de pressão as principais atividades antrópicas que incidem na degradação/desorganização dos ambientes naturais.

A escala de análise dos indicadores de pressão inicialmente seria realizada a partir dos setores censitários agropecuários, no entanto o IBGE não fornece as informações do censo agropecuário no nível de detalhamento dos setores, pelo fato de conter informações sensíveis, conduzindo a pesquisa a tratar das informações agropecuárias em uma escala de análise municipal. Contudo, graças ao uso de técnicas de sensoriamento remoto, associadas às pesquisas de campo, foi possível realizar inferências mais detalhadas quanto à distribuição espacial das atividades agropecuárias em cada sistema ambiental.

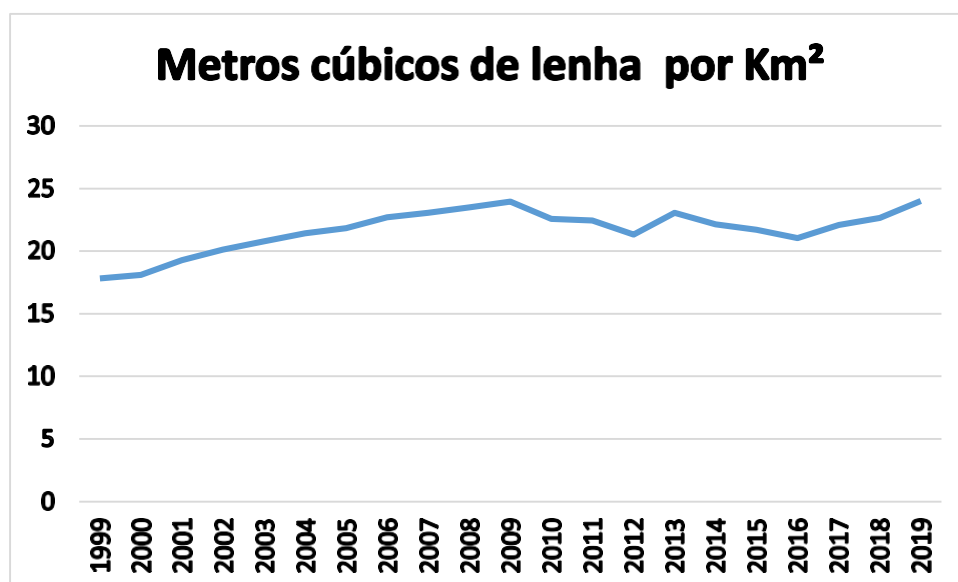
A fonte dos dados utilizados continuou sendo o IBGE, mas, ao invés do Censo, foram utilizadas três outras pesquisas: Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVES; Produção Agrícola Municipal – PAM e a Pesquisa da Pecuária Municipal – PPM. Esses levantamentos contam como vantagem a periodicidade anual dos dados, o que permitiu que para cada variável analisada, fosse calculada a média, o desvio padrão e fosse construído um gráfico.

Partindo do entendimento da física de que a pressão é uma grandeza escalar definida pela razão entre a força aplicada e sua área de contato, buscou-se apresentar os indicadores de pressão através de sua incidência em relação a cada quilômetro quadrado de Crateús.

### 5.2.1 Extrativismo Vegetal

Foram analisadas duas variáveis referentes ao extrativismo vegetal: metros cúbicos de lenha extraídos e toneladas de carvão produzidas.

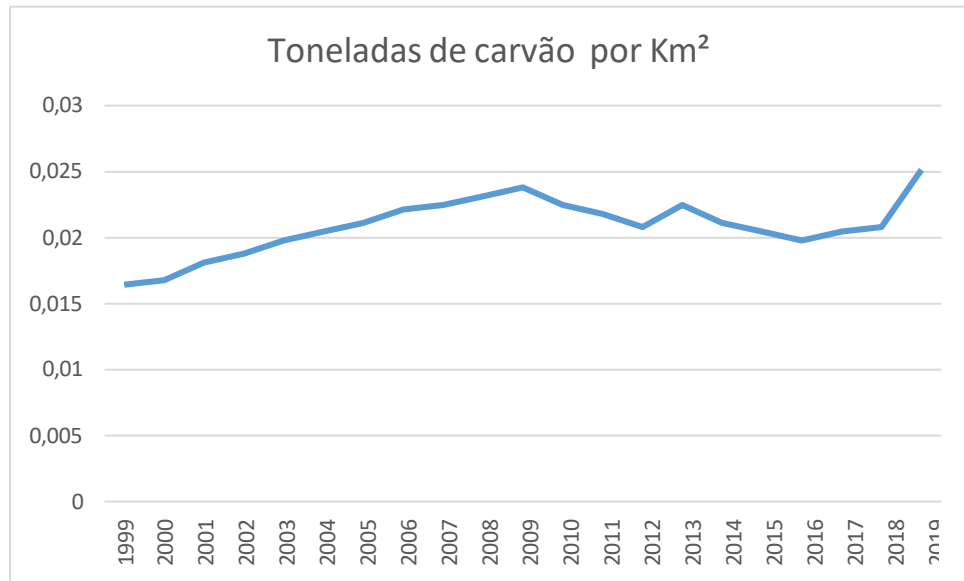
O gráfico abaixo (Figura 40) apresenta a distribuição da extração de lenha por km<sup>2</sup> em Crateús no período de 1999 até 2019. Observa-se que a quantidade de lenha extraída se mantém com razoável constância durante o período analisado, apresentando uma tendência de crescimento. É possível verificar um aumento de retirada de 6,2 metros cúbicos por km<sup>2</sup> entre o início e o fim da série.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do IBGE (2020).

A pressão média exercida no ambiente pela extração de lenha, no período analisado, foi a retirada de 21,7 metros cúbicos, tendendo a variar 1,7 ponto para mais ou para menos. Somados, esses valores resultam em 455,7 metros cúbicos de lenha retirados em cada quilômetro quadrado do município, sem considerar a extração irregular.

No tocante à produção de carvão, é possível observar que a quantidade de carvão produzida por km<sup>2</sup> em Crateús no período de 1999 até 2019 (Figura 41) se mantém com razoável constância durante o período analisado, apresentando uma leve tendência de crescimento. É possível verificar um aumento na produção de 8,7 quilos de carvão por km<sup>2</sup> entre o início e o fim da série.

**Figura 40- Toneladas de carvão retiradas por km<sup>2</sup>**

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do IBGE (2020).

A pressão média exercida no ambiente, pela produção de carvão no período analisado, foi a retirada de 20,9 quilos de carvão (0,0209 toneladas) por km<sup>2</sup>, tendendo a variar 2,1 quilos para mais ou para menos. Somados, esses valores resultam em 438,3 metros cúbicos de lenha retirados em cada quilômetro quadrado do município, sem considerar a produção irregular de carvão.

Em campo, foi possível verificar que a extração de vegetação acontece em todo o município, tendo como propósito fins comerciais, ou utilização doméstica da lenha como matriz energética para cozinhar alimentos. A extração de lenha para fins comerciais e para produção de carvão foi verificada com maior frequência na Ibiapaba, possivelmente por possuir uma vegetação de grande porte em abundância.

Foram verificadas várias áreas que apresentavam o mesmo padrão de dezenas de hectares desmatados, com os troncos retirados, e parte da lenha mais fina usada para produção rudimentar de carvão, e os restos da vegetação usados para praticar a queimada como técnica de preparo do solo (Figura 42).

**Figura 41 - Imagem de drone sobre área recém desmatada**

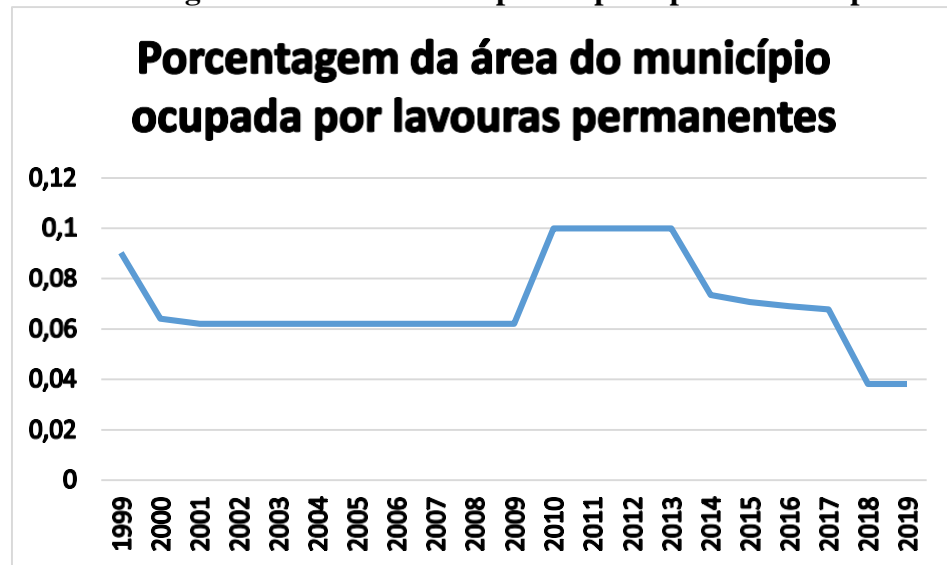


Fonte: Elaborado pelo autor.

### 5.2.2 Agricultura

Analisando o comportamento temporal da ocupação do território de Crateús por lavouras permanentes (Figura 43), é possível verificar que existe uma razoável variabilidade nos dados ao longo dos anos, apresentando entre 2013 e 2019 uma tendência somente de queda. Considerando o início e o fim da série, houve uma redução de 0,09 para 0,038, o que corresponde a uma queda para menos da metade do valor inicial.

**Figura 42 - Porcentagem da área do município ocupada por lavouras permanentes**

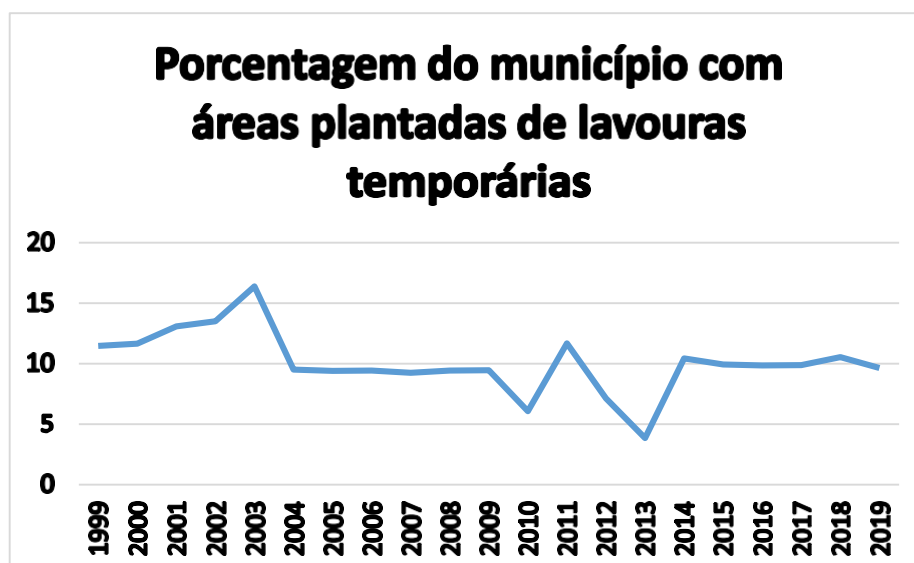


Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do IBGE (2020).

O percentual médio ocupado por lavouras permanentes foi de 0,07% do município, com desvio padrão de 0,018. Os valores máximos de percentual do município ocupado por lavouras permanentes ocorreram entre 2010 e 2013, correspondendo a 1% da área do município.

Na série histórica das lavouras temporárias (Figura 44), também é possível verificar que existe uma razoável variabilidade nos dados ao longo dos anos, apresentando também uma queda de 0,51% na porcentagem do município ocupado por essa atividade entre o início e o fim da série histórica.

**Figura 43 - Porcentagem do município com áreas plantadas de lavouras temporárias**



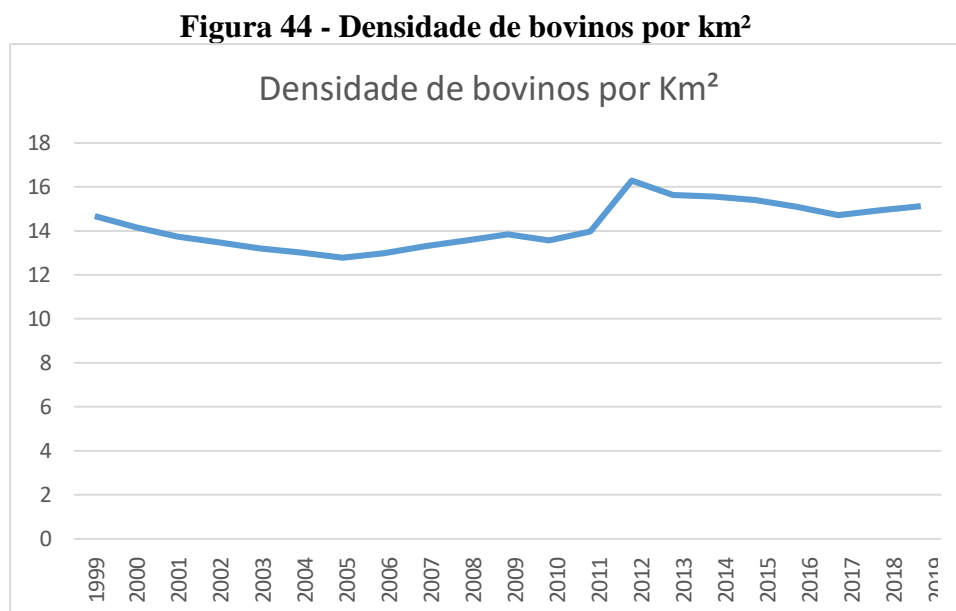
Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do IBGE (2020).



### 5.2.3 Pecuária

Os dados de pecuária de Crateús foram retirados da Pesquisa da Pecuária Municipal – PPM, de onde foram extraídos os dados referentes aos efetivos totais de rebanhos, e calculada a densidade demográfica de cada uma das principais atividades pecuárias presentes no município.

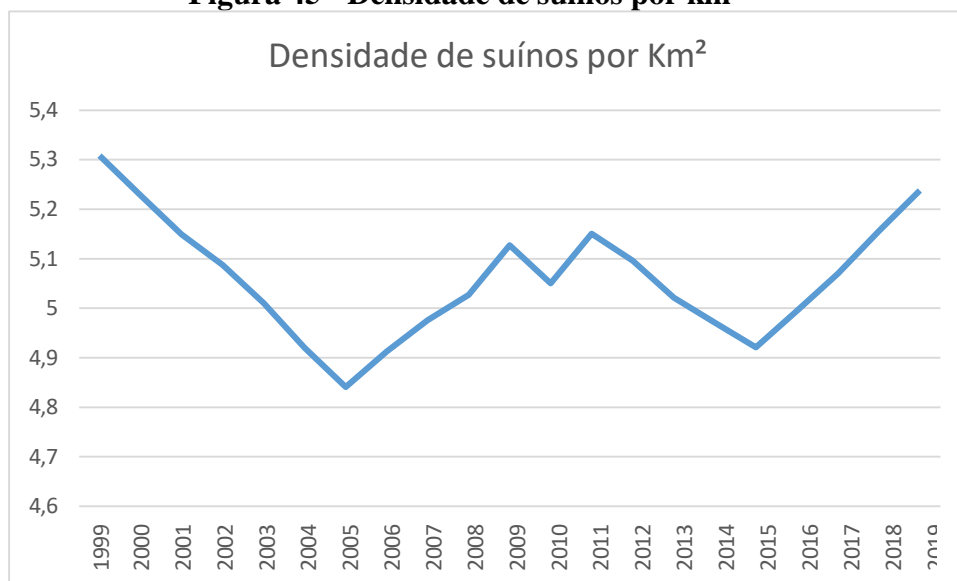
O gráfico abaixo (Figura 45) apresenta a distribuição da densidade demográfica do gado bovino, expressa pelo número de bovinos por km<sup>2</sup> em Crateús, no período de 1999 até 2019. Observa-se que a densidade de bovinos se mantém com considerável constância durante o período analisado, apresentando um leve crescimento de 0,44 entre o início e o fim da série.



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do IBGE (2020).

A pressão média exercida sobre o ambiente pela pecuária de bovinos, no período analisado, foi de 14,13 por km<sup>2</sup>, tendendo a variar 1 ponto para mais ou para menos. Somados, esses valores resultam em 229 bovinos para cada quilômetro quadrado do município.

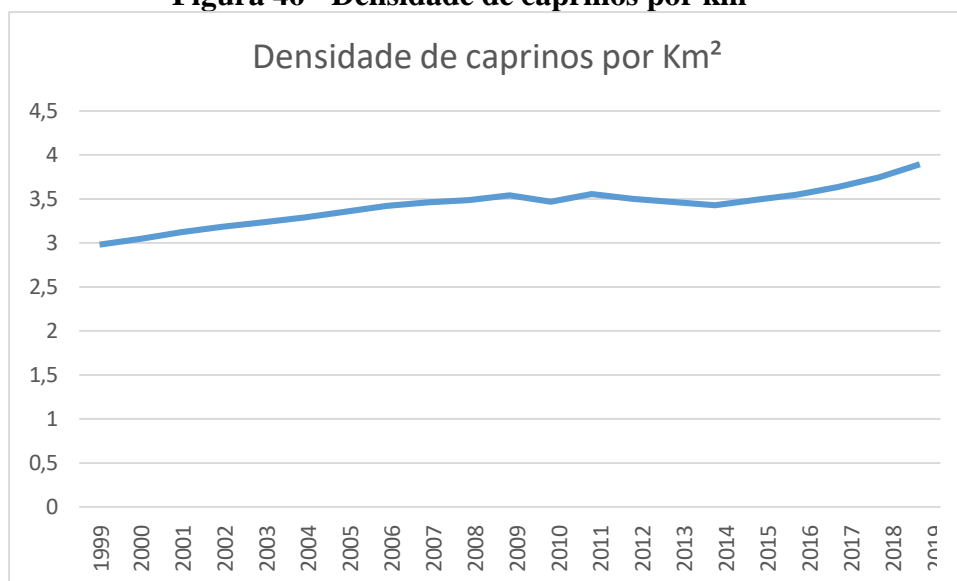
A criação de suínos no município foi a que apresentou menor variação ao longo do período analisado (Figura 46). Apesar de haver um aumento entre 2016 e 2019, houve um leve decréscimo de 0,07 suínos por km<sup>2</sup>, entre o início e o fim do período analisado.

**Figura 45 - Densidade de suínos por km<sup>2</sup>**

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do IBGE (2020).

A pressão média exercida sobre o ambiente pela pecuária de suínos no período analisado foi de 5 por km<sup>2</sup>, tendendo a variar 0,1 ponto para mais ou para menos. Somados, esses valores resultam em 106,2 suínos para cada quilômetro quadrado do município.

A densidade de caprinos mostrou-se com uma tendência praticamente constante de aumento ao longo dos 21 anos analisados, o que levou a um aumento de 0,9 na densidade demográfica, entre o início e o fim da série (Figura 47).

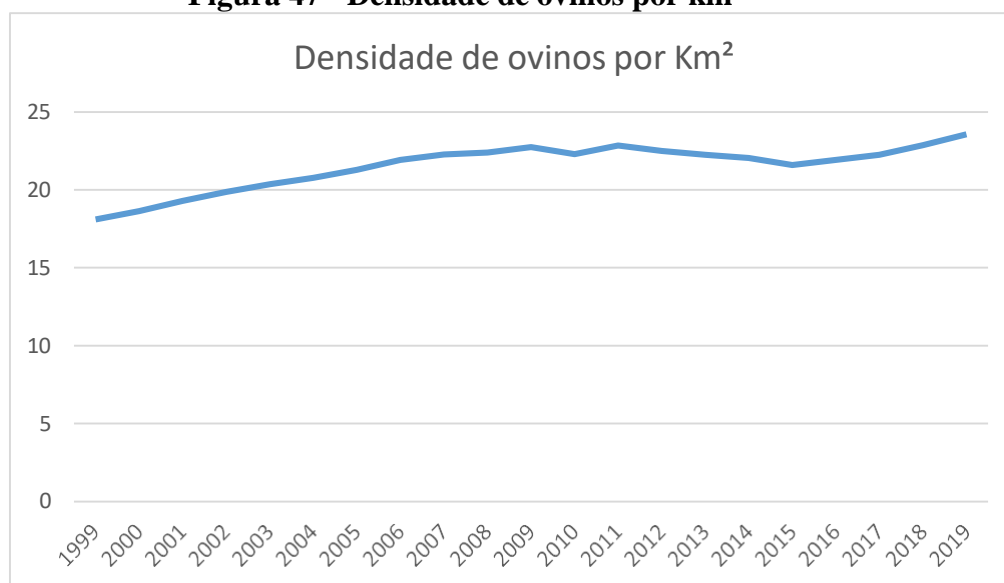
**Figura 46 - Densidade de caprinos por km<sup>2</sup>**

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do IBGE (2020).

A pressão média exercida sobre o ambiente pela pecuária de caprinos, no período analisado, foi de 3,4 por km<sup>2</sup>, tendendo a variar 0,22 ponto para mais ou para menos. Somados, esses valores resultam em 71 caprinos para cada quilômetro quadrado do município.

Os ovinos apresentaram o mais considerável aumento populacional, passando de 18 cabeças por km<sup>2</sup> em 1999 para 23,5 em 2019 (Figura 48).

**Figura 47 - Densidade de ovinos por km<sup>2</sup>**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do IBGE (2020).

A pressão média exercida sobre o ambiente pela pecuária de ovinos, no período analisado, foi de 12,51 por km<sup>2</sup>, tendendo a variar 1,7 ponto para mais ou para menos. Somados, esses valores resultam em 451 ovinos para cada quilômetro quadrado do município.

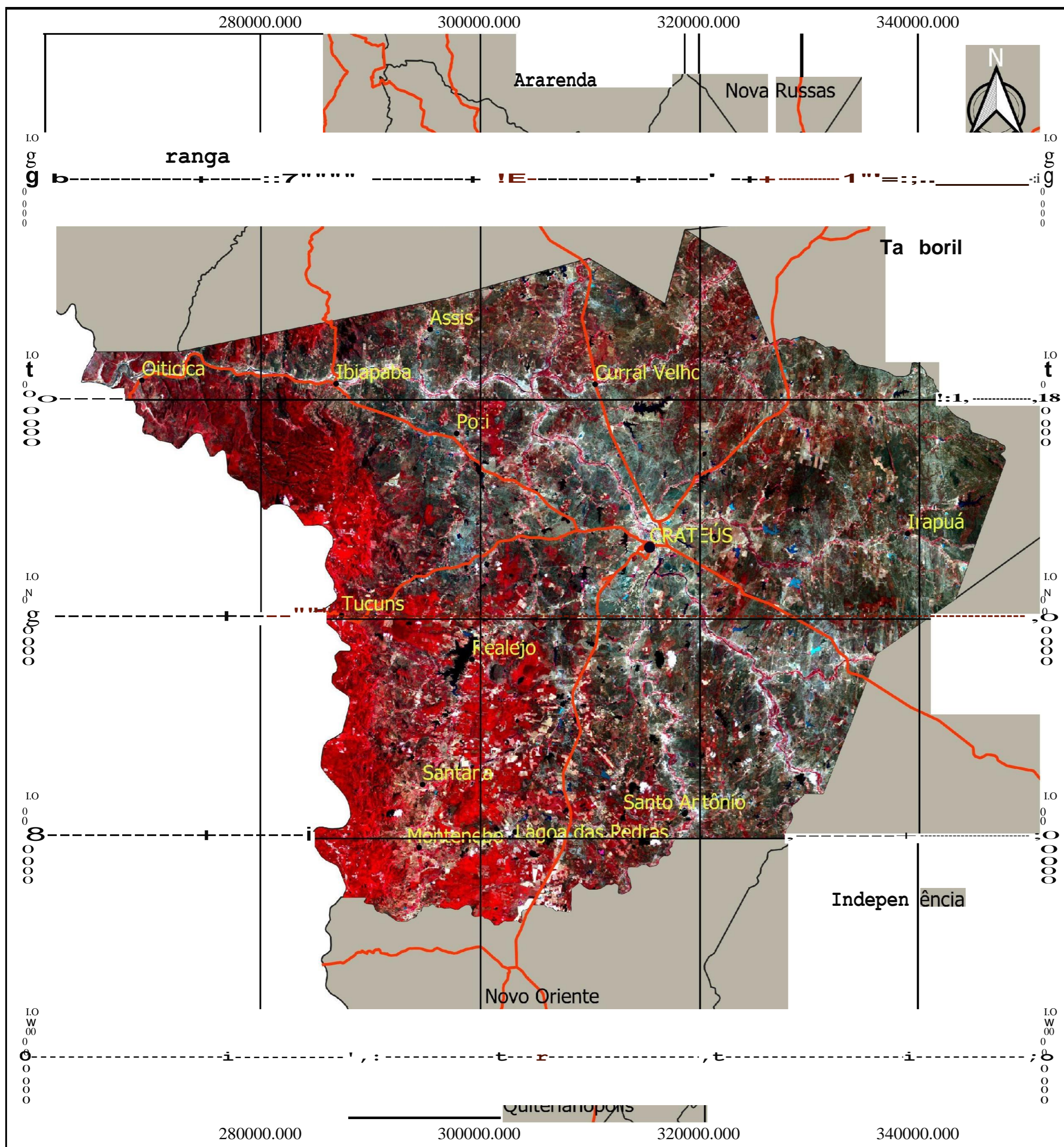
## **6 DINÂMICA ESPAÇOTEMPORAL DA VEGETAÇÃO E ATUAL ESTADO DE USO E COBERTURA**

### **6.1 Análise comparativa da cobertura vegetal entre 1985 e 2019**

Para a análise comparativa da cobertura vegetal, foram confeccionados dois mosaicos de satélite, a partir de imagens dos satélites LANDSAT 5, sensor TM, bandas 4, 3 e 2, com resolução espacial de 30m, datadas de setembro/1985 e LANDSAT 8, sensor OLI, bandas 5, 4 e 3, com resolução espacial de 30m, datadas de setembro/2019.

A composição de bandas utilizadas forneceu uma composição de falsa cor, com destaque para a vegetação, que apresenta forte refletância na frequência do infravermelho próximo. Ambos os mosaicos foram recortados a partir do perímetro de Crateús e em seguida foi realizado o procedimento de equalização do histograma das imagens, a fim de conferir melhores contrastes às imagens.

Figura 48 - Imagem de satélite de Crateús (1985)



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
 UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
 PRO-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA  
 CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
 PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



Titulo da Tese:  
 AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/  
 DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CRATEÚS-CE.

Titulo do Inapa:  
 IMAGEM DE SATELITE DE CRATEÚS - CE (1985)

Autor: DIEGO TEIXEIRA DE ARAUJO

Orientador: FÁRCON JOSE NOGUEIRA DE SOUZA

Coorientadora: VLADIA PINTO VIDAL DE OLIVEIRA

- CONVENÇÕES CARTOGRAFICAS**
- Sede de Crateús
  - Corpos hídricos
  - Sedes distritais
  - .-.- Estradas Pavimentadas
  - Q Perimetro Crateús
  - .-.- Drenagens Principais
  - Q Limites Municipais

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagens de satélite LANDSAT 5, sensor TM, bandas 4, 3 e 2, registrada em setembro de 1985 e bases cartográficas disponibilizadas pelo IPECE (2009, 2019).

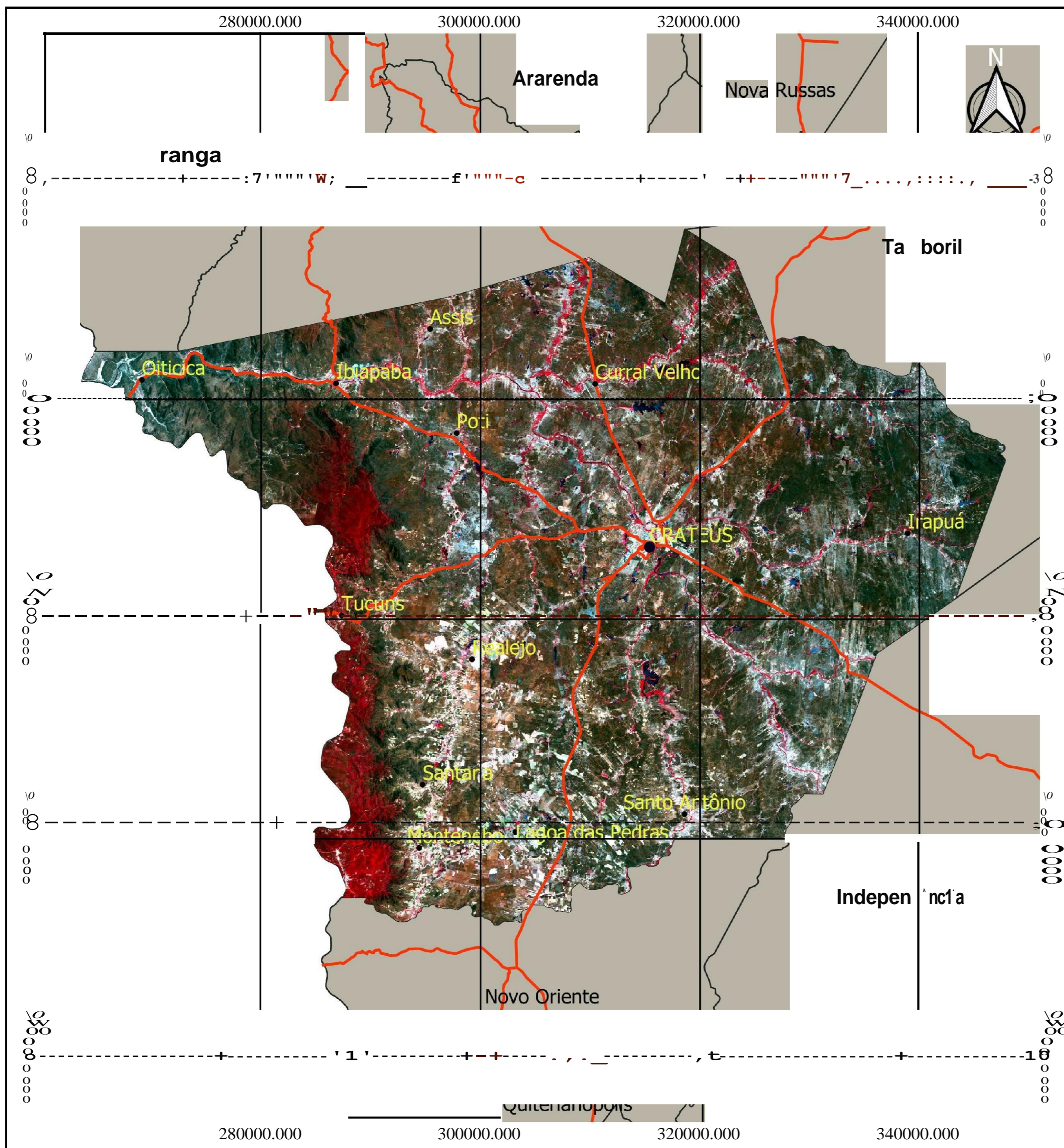
10      0      10      20 km

Sistema de projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
 Datum vertical: IBITUBA- S. CATARINA  
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, zona 24 S

APOIO:

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 49 - Imagem de satélite de Crateús (2019)



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
 UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
 PRO-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA  
 CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
 PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Título da Tese:  
 AVALIAÇÃO DOS PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/  
 DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CRATEÚS-CE.

Título do Inapa:  
 IMAGEM DE SATELITE DE CRATEÚS - CE (2019)

Autor:  
 DIEGO TEIXEIRA DE ARAÚJO

Orientador:  
 MARCOS JOSÉ NOGUEIRA DE SOUZA

Coorientadora:  
 VLADIA PINTO VIDAL DE OLIVEIRA

**CONVENÇÃO CARTOGRÁFICAS**

- Sede de Crateús
- Corpos hídricos
- Sedes distritais
- .-.- Estradas Pavimentadas
- Q Perímetro Crateús
- ..... Drenagens Principais
- Q Limites Municipais

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagens de satélite LANDSAT 8, sensor OLI, bandas 5, 4 e 3, registrada em setembro de 2019 e bases cartográficas disponibilizadas pelo IPECE (2009, 2019).

APOIO:

10 0 10 20 km

Sistema de projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
 Datum vertical: IBITUBA- S. CATARINA  
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, zona 24 S

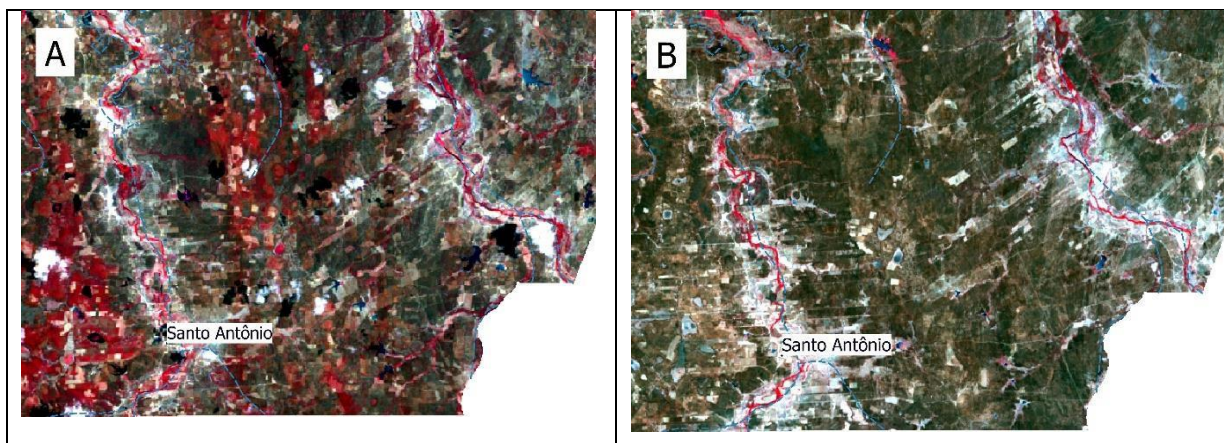
Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da imagem de satélite de 1985 (Figura 49), é possível observar que Crateús já possuía uma considerável parcela de áreas degradadas, com destaque para as planícies ribeirinhas e áreas de entorno. Ao longo das margens dos rios, são verificadas diversas áreas de solos expostos e atividade agropecuária, que exibem cor branca ou tonalidades muito claras. Ao longo de todo o município, já se verificam áreas de caatinga degradada em diferentes tonalidades de cinza. Apesar de já haver uma considerável degradação da vegetação nesse período, ainda se observava uma presença considerável de caatinga arbórea recobrando os tabuleiros interiores.

A imagem de satélite de 2019 (Figura 50) evidencia um considerável avanço da degradação ambiental no município de Crateús. A dinâmica de avanço das áreas degradadas apresenta uma disposição prioritária de irradiação, a partir de planos perpendiculares aos leitos fluviais.

É possível visualizar que já em 1985 (Figura 51 A) existia um processo de irradiação da degradação, que se dava a partir dos leitos fluviais dos riachos Itaim e Curiú. Na Figura 51 B é possível observar que a expansão das áreas degradadas se deu a partir dos mesmos padrões angulares, diferindo, sobretudo, na intensidade e incorporação de novas áreas.

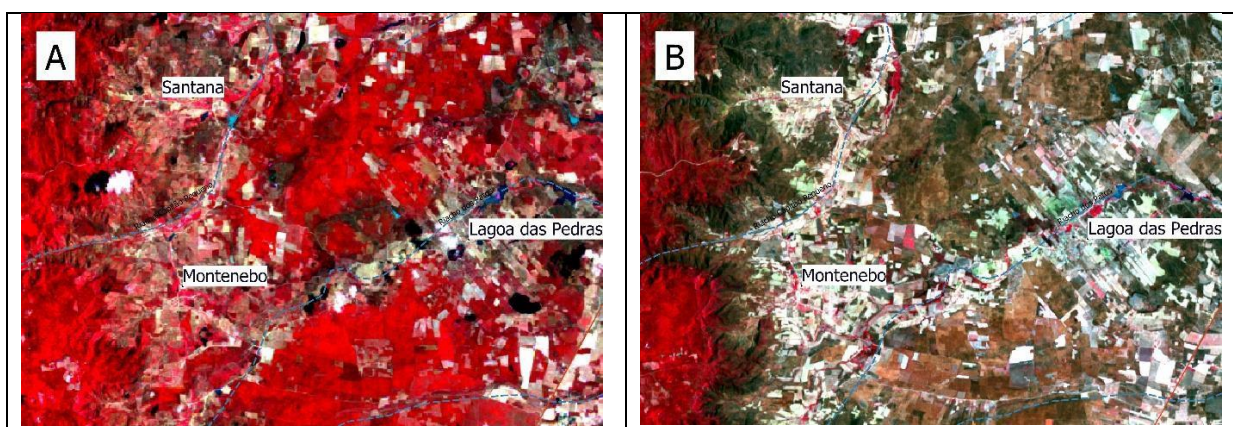
**Figura 50 - Expansão da degradação entre 1985 (A) e 2019 (B) nas proximidades do distrito de Santo Antônio - Crateús**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagens do satélite landsat.

A área que apresentou maiores avanços da degradação da vegetação, no período observado, foi a porção sudoeste de Crateús, entre as comunidades de Santana, Montenebo e Lagoa das Pedras (Figura 52).

**Figura 51 - Expansão da degradação entre 1985 (A) e 2019 (B) nas proximidades dos distritos de Santana, Montenebo e Lagoa das Pedras - Crateús**



Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagens do satélite Landsat

Entre 1985 (Figura 52 A) e 2019 (Figura 52 B), houve uma perda significativa de vegetação no entorno dessas três comunidades rurais, seguindo o mesmo padrão de avanço da degradação notadamente forte nas proximidades dos cursos fluviais. É possível observar também importantes alterações no padrão de refletância local em função do elevado albedo dos solos expostos, com destaque para as manchas de Neossolos Quartzarênicos presentes nos tabuleiros interiores.

Apesar de o avanço da degradação ambiental se mostrar como tendência central no recorte temporal analisado, houve áreas que apresentaram regeneração da cobertura vegetal. A principal área que apresentou regeneração da vegetação foi a reserva ambiental da Serra das Matas e algumas áreas de assentamentos rurais, sobretudo do assentamento Palmares.

A dinâmica de degradação do município se mostra fortemente condicionada por três fatores: disponibilidade hídrica, estrutura fundiária e padrões demográficos.

As Planícies Ribeirinhas são epicentros dos processos de degradação ambiental, em função de se caracterizarem como os sistemas ambientais que possuem melhor disponibilidade de recursos hídricos, possuem maior densidade populacional e condicionam a disposição das propriedades rurais.

Do ponto de vista da exploração dessas áreas pela pecuária, a grande quantidade de espelhos d'água e poços levam a uma tendência de concentração dos impactos das atividades agropastoris, uma vez que a área em volta de cada fonte de água torna-se um epicentro de pisoteio e sobrepastejo do gado, onde os danos vão diminuindo a partir do foco (LANGE, 1969 apud HARE et al, 1992). Na agricultura de sequeiro, a tendência das lavouras



se concentrarem próximas às áreas de moradia também conduz a uma maior pressão nas áreas próximas às planícies ribeirinhas, por serem mais densamente povoadas. Na agricultura de regadio, os primeiros pontos a serem atacados são os de menor cota. A coleta de lenha para ser usada como matriz energética também tem impacto mais localizado próximo às áreas de povoamento. (HARE et al, 1992).

Dada a estrutura fundiária de Crateús estar muito ligada aos canais fluviais, de forma que as propriedades rurais seguem uma tendência de possuir uma pequena área margeando os rios e uma área maior que se estende em direção às Depressões Sertanejas, as manchas de degradação da vegetação tendem a se expandir seguindo padrões geométricos, orientados pelas poligonais das fazendas.

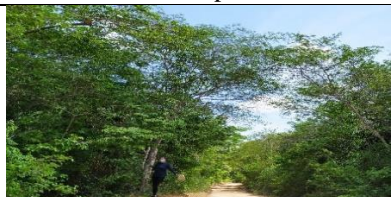
## 6.2 Uso e cobertura

O mapeamento do Uso e Cobertura da Terra foi elaborado na escala metodológica de 1:50.000, sintetizando as principais atividades exercidas no município, o atual estado da cobertura vegetal, assim como seus níveis de representatividade espacial.

Para a identificação e mapeamento das principais classes de uso e cobertura da terra, foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 8, sensor OLI, com resolução espacial de 30m, datadas de setembro/2019. Para determinação das classes, foi utilizado o método da classificação supervisionada, a partir de dados georreferenciados coletados em campo e computados no software Qgis 3.16.

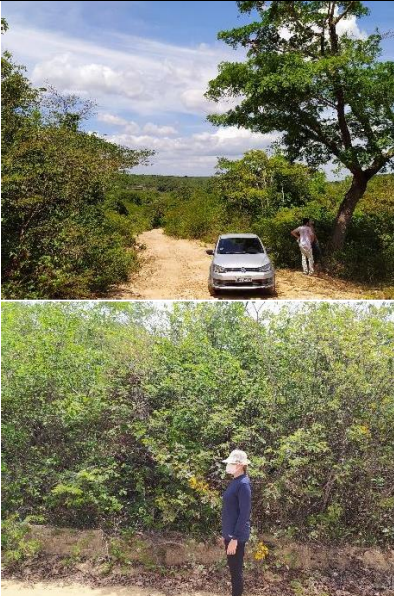




As classes de mapeamento foram elaboradas a partir de uma adaptação dos critérios adotados por FUNCEME e DNOCS (2015), considerando a cobertura vegetal predominante, as principais atividades e o estado de conservação e/ou de degradação do ambiente. A partir dos elementos de interpretação adotados no reconhecimento das feições analisadas nas imagens, foi possível distinguir as classes temáticas esquematizadas no quadro abaixo (Quadro 9).

**Quadro 9 - Características das Classes Temáticas de uso e ocupação** (continua)






Classe mapeada	Descrição	Foto retirada em campo
Mata Seca moderadamente conservada	Mata Seca moderadamente conservada com características naturais semelhantes às do recobrimento vegetal primário. Apresenta grande potencial de fitoestabilização dos solos.	

### Quadro 9 - Características das Classes Temáticas de uso e ocupação

(continuação)

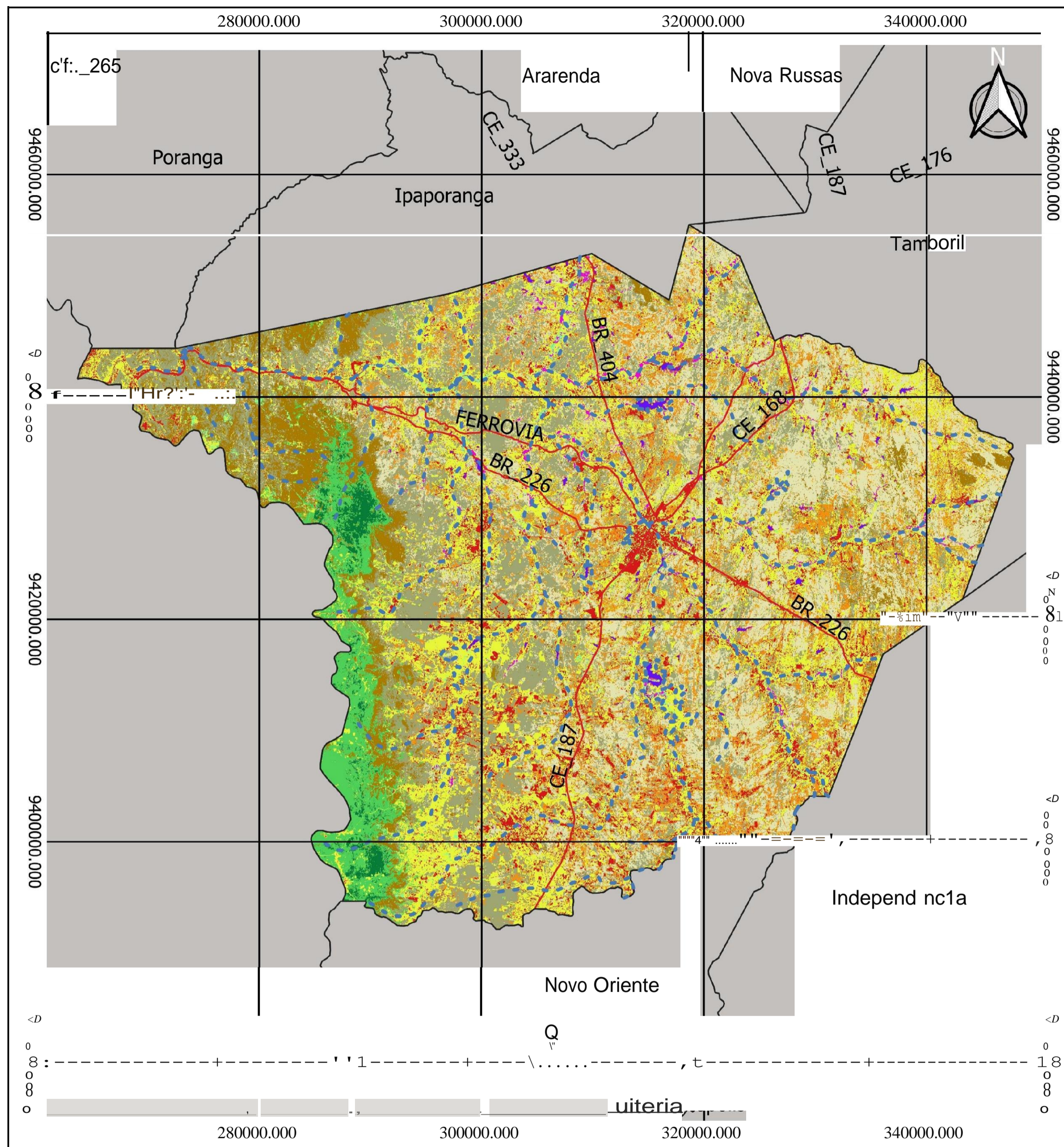
<p>Mata Seca moderadamente degradada / Carrasco</p>	<p>Mata Seca moderadamente degradada, com partes das características do recobrimento vegetal primário, associada ao carrasco e atividades de agropecuária. Apresenta médio potencial de fitoestabilização dos solos.</p>	
<p>Mata Ciliar moderadamente conservada</p>	<p>Mata ciliar ribeirinha arbóreo-arbustiva moderadamente conservada, com características de recobrimento vegetal secundário transformado. Bom potencial de fitoestabilização do relevo.</p>	
<p>Mata Ciliar degradada/Agropecuária</p>	<p>Mata ciliar degradada com características secundárias fortemente transformadas, biodiversidade irreversivelmente comprometida e baixo potencial de fitoestabilização do relevo.</p>	
<p>Caatinga Arbórea/Mata Seca moderadamente conservada</p>	<p>Caatinga arbóreo-arbustiva parcialmente degradada, com características do recobrimento vegetal primário transformadas. Apresenta um bom potencial de fitoestabilização do relevo.</p>	
<p>Caatinga moderadamente conservada/extrativismo</p>	<p>Caatinga parcialmente conservada com características naturais semelhantes às do recobrimento vegetal primário. Apresenta bom potencial de fitoestabilização dos solos.</p>	


**Quadro 9 - Características das Classes Temáticas de uso e ocupação** (conclusão)

Caatinga moderadamente degradada/agropecuária	Caatinga degradada, com partes das características do recobrimento vegetal primário, associada a culturas de subsistência e pastagens extensivas. Apresenta baixo potencial de fitoestabilização dos solos.	
Caatinga fortemente degradada/Agropecuária	Caatinga intensamente degradada, com solos e biodiversidade severamente comprometidos, com presença dispersa de espécies de caatinga arbustivo-arbórea, arbustivo-herbácea, cactáceas, exposições rochosas, matações, solos erodidos com intensa utilização pelo pastoreio extensivo. Apresenta baixo potencial de fitoestabilização dos solos.	
Agropecuária	Cobertura vegetal com estratos variados de espécies cultivadas associadas a vegetações naturais. Apresenta primazia do extrato herbáceo das culturais de sequeiro e dos pastos naturais. Apresenta muito baixo potencial de fitoestabilização dos solos.	
Solos Expostos	Áreas sem nenhum tipo de recobrimento vegetal. Não apresenta nenhum nível de fitoestabilização dos solos.	
Água	Recursos hídricos diversos.	


Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 52 - Mapa de uso e cobertura de Crateús





GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
PRO-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA



---

Titulo da Tese:  
INDICADORES DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CRATEÚS - UMA ABRORDAGEM SISTEMÁTICA PAUTADA NA ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA.

---

Titulo do mapa:  
MAPA DE USO E COBERTURA DE CRATEÚS

---

Autor: DIEGO TEIXEIRA DE ARAUJO

---

Orientador: MARCOS JOSÉ NOGUEIRA DE SOUZA

---

Coorientadora: VLADIA PINTO VIDAL DE OLIVEIRA

---

**CONVENÇÕES CARTOGRAFICAS**

- Sede de Crateús
- Corpos hídricos
- Sedes distritais
- Estradas Pavimentadas
- Perímetro Crateús
- Drenagens Principais
- Limites Municipais

---


**LEGENDA**

- MATA SECA MODERADAMENTE CONSERVADA
- MATA SECA MODERADAMENTE DEGRADADA/CARRASCO
- SOLOS EXPOSTOS
- AGROPECUÁRIA
- MATA CILIAR DEGRADADA/AGROPECUÁRIA
- MATA CILIAR CONSERVADA
- CAATINGA MODERADAMENTE CONSERVADA/EXTRATIVISMO
- CAATINGA MODERADAMENTE DEGRADADA/AGROPECUÁRIA
- CAATINGA FORTEMENTE DEGRADADA/AGROPECUÁRIA
- CAATINGA ARBÓREA ASSOCIADA/MATA SECA M. CONSERVADA
- ÁGUA


Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagens do satélite Landsat (2019) e bases cartográficas do IPECE (2009; 2019).

---

10 0 10 20 km



APOIO:



Sistema de projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
Datum vertical: IBITUBA - S. CATARINA  
Datum Horizontal: SIRGAS 2000, zona 24 S

Fonte: Elaborado pelo autor.

De uma forma geral, Crateús apresenta níveis preocupantes de degradação ambiental. Fato que repercute diretamente nos padrões de uso e coberturas preponderantes no município.

O sistema ambiental que apresentou maiores níveis de degradação ambiental foi as Planícies Fluviais. A vegetação nativa de mata ciliar se encontra descaracterizada quase em sua totalidade. A maior parte da vegetação encontra-se suprimida, dando lugar a áreas de pastos e lavouras. Apenas uma pequena área desse sistema possui uma vegetação próxima das condições primárias. A maior parte da vegetação nativa restante encontra-se bastante degradada e comumente associada a sistemas agropastoris.

O elevado nível de degradação ambiental desse sistema desencadeia um baixo nível de fitoestabilização do ambiente. A predominância da topografia plana, associada à considerável profundidade dos solos, atuam como fatores atenuantes dos mecanismos de erosão linear, verificados apenas em regiões de desníveis topográficos, que marcam as transições entre os leitos maiores e os leitos menores dos rios. De modo geral, é possível verificar uma dinâmica ambiental regressiva comandada principalmente pelas atividades antrópicas de agricultura e pecuária.

No que concerne aos possíveis *feedbacks* entre os processos de degradação de superfície e os processos atmosféricos de desertificação, é possível destacar que a elevada supressão da vegetação nesse sistema causa um impacto bastante expressivo e com caráter difuso. O impacto se dá de forma significativa em função da forte atuação de três importantes mecanismos de redução da precipitação: a elevada supressão da vegetação causa um imediato impacto no processo de reciclagem da precipitação; a elevada exposição dos solos desencadeia mais dois mecanismos de retração das chuvas: elevação do albedo e dos níveis de poeira na atmosfera. Apesar de elevados, é pertinente destacar que os *feedbacks*, ocasionados pela forte geração desse sistema, possuem caráter difuso, dada a elevada dispersão desse sistema ambiental ao longo do município.

Outro sistema que apresenta áreas bastante degradadas são os tabuleiros interiores. Esses sistemas apresentam uma dinâmica bastante peculiar, onde se verifica em suas áreas centrais um baixo nível de uso e áreas de caatingas com considerável nível de preservação, enquanto as áreas de bordas desse ambiente se apresentam com elevado nível de apropriação pela agropecuária, levando à predominância de sistemas agropastoris e solos expostos<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Uma possível explicação para o padrão de ocupação verificado é que haja um natural desinteresse por esses ambientes em função dos solos com baixa fertilidade (Neossolos Quartzarênicos), e baixo potencial

O quadro dual dos níveis de conservação desse ambiente se reflete em dois padrões contrastantes de fitoestabilização do ambiente, consideravelmente alto nas áreas centrais e consideravelmente baixo nas áreas de borda. A predominância da topografia plana desse ambiente, associada à considerável profundidade e permeabilidade dos solos, atuam como fatores atenuantes dos mecanismos de erosão linear, de modo que não foram verificadas em campo presenças marcantes de sulcos e ravinas, nem mesmo em áreas de solo exposto.

No tocante aos *feedbacks* entre os processos de degradação de superfície e os processos atmosféricos de diminuição da precipitação, é possível destacar que a elevada supressão da vegetação nas regiões de borda desse sistema causa um impacto bastante forte e com caráter mais pontual. O impacto se dá de forma expressiva em função da forte atuação de três importantes mecanismos de redução da precipitação já destacados, apresentando, porém, um maior destaque na atuação do albedo que tende a ser mais elevado nesse ambiente devido ao comportamento espectral dos Neossolos Quartzarênicos que apresentam, na região, uma coloração esbranquiçada. Dada uma razoável concentração desses ambientes na porção sudoeste de Crateús, o caráter da interferência da degradação ambiental desse ambiente é mais pontual.

A depressão sertaneja apresenta, de forma geral, um recobrimento generalizado de caatingas em diferentes estados de conservação, associados à agropecuária. As caatingas moderadamente conservadas, associadas ao extrativismo vegetal, são as que oferecem melhores condições aos processo de fitoestabilização do solo, apresentando predominância na porção ocidental do município; as caatingas moderadamente degradadas apresentam um baixo potencial de fitoestabilização dos solos, apresentando predominância na porção oriental do município; as caatingas fortemente degradadas associadas à agropecuária; as manchas de agropecuária e as áreas de solos expostos partilham de um mesmo padrão de ocorrência que se dá nas áreas de proximidade entre a Depressão Sertaneja e as Planícies Fluviais, apresentando muitas vezes um claro padrão de irradiação perpendicular aos leitos dos rios.

Apesar de uma predominância da vegetação de caatinga, os seus diferentes estados de conservação conduzem a uma diversidade de padrões morfodinâmicos nesse ambiente. De modo geral, nota-se que há primazia dos processos de erosão areolares,

---

hidrológico, e as áreas de bordas desse ambiente possivelmente apresentam melhores condições hidrológicas em decorrência de algum nível de ressurgências de águas pluviais facilmente infiltradas nos solos com elevada permeabilidade e que vêm a ressurgir nas regiões de borda onde existe contato com rochas cristalinas impermeáveis.

evidenciados pelas exposições de horizontes subsuperficiais dos solos e por afloramento de rochas, que chegam a gerar formações de pavimentos desérticos (Figura 54).

**Figura 53 - Pavimento desértico na depressão sertaneja nas proximidades da comunidade da Ibiapaba**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Também é verificada em campo a ocorrência de processos de erosão lineares, que apresentam uma frequência diretamente proporcional ao nível de declividade e inversamente proporcional ao nível de conservação da vegetação nativa. A depender da declividade do ambiente, mesmo após razoável nível de recuperação da vegetação, os processos de erosão lineares apresentam progressão contínua e alguns sulcos de erosão evoluem para ravinas, que chegam a atingir os horizontes C e R.

A Figura 55 exibe uma voçoroca ainda em processo de evolução ocasionada pelo desmatamento da área, e mesmo após o processo de restauração parcial da vegetação, não houve ainda contenção dos processos erosivos.

**Figura 54 - Voçoroca situada em uma mancha de argissolo da Depressão Sertaneja**



Fonte: Elaborado pelo autor.

No tocante aos *feedbacks* entre os processos de degradação de superfície e os processos atmosféricos de desertificação, é possível destacar que existe uma influência moderada e difusa. Apesar dos diferentes estados de degradação da caatinga, ainda ocorre uma considerável área de cobertura vegetal, de modo que os mecanismos de *feedbacks* se verificam em áreas dispersas desse ambiente, onde há predominância de atividades agrárias, que ocasionam maior supressão da vegetação nativa.

O planalto da Ibiapaba apresenta três classes de uso e cobertura predominantes: no *front* existe uma preponderância de caatinga arbórea associada à mata seca; no reverso existem algumas manchas de mata seca moderadamente conservadas, contudo a classe de uso e cobertura dominante é a mata seca degradada, associada ao “carrasco”. Áreas com prevalência agropecuária como padrão dominante ocorrem em proporções razoavelmente pequenas e de forma dispersa.

A Caatinga Arbórea associada à Mata Seca, quando bem preservada, apresenta um bom potencial de fitoestabilização dos solos. Contudo outros componentes ambientais da vertente íngreme conduzem para uma ecodinâmica de instabilidade. A preponderância de



rochas cristalinas, associadas a níveis de declividade constantemente superiores a 45 graus, conduz a uma instabilidade natural desse subcompartmento. Diante de processos de desmatamento da vegetação, verifica-se a ocorrência de processos erosivos demasiadamente intensos, capazes de desnudar grandes quantidades de solos, levando aos afloramentos de rochas e maior exumação de rochas já expostas.

**Figura 55 - Afloramento de rochas exumadas em decorrência do desmatamento da vertente inclinada (Front) da cuesta da Ibiapaba**



Fonte: Elaborado pelo autor.

O reverso imediato da cuesta tem como vegetação natural a mata seca. Contudo, em campo, verificou-se a ocorrência da vegetação de “carrasco”, com forte presença nesse setor, indicando uma dinâmica regressiva da vegetação. Nas proximidades da divisa com o Piauí, existe evidente predominância do “carrasco” associado à agropecuária.

A elevada permeabilidade dos solos, associada a uma estrutura geológica bastante permoporosa, são importantes condicionantes para a percolação da água, inibindo o escoamento e consequentemente os mecanismos de erosão. As vegetações preponderantes atenuam a ação dos processos erosivos, quanto mais próximas aos estados naturais. Em campo, são raras as evidências de processos de erosão linear. Contudo, em áreas próximas ao *front* e/ou com maior declividade, os mecanismos de erosão que se instalam encontram na elevada friabilidade dos solos potencial de evolução para ravinas e até mesmo voçorocas, com até três metros de profundidade (Figura 57).

**Figura 56 - Voçoroca com três metros de profundidade, próximo à comunidade Cabeça da Onça**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os *feedbacks* entre superfície e atmosfera se dão, sobretudo, pela considerável perda de biomassa vegetal, decorrente do avanço da degradação da mata seca e do “carrasco”, contribuindo para uma menor reciclagem da precipitação. Exposições dos solos tendem a ser recobertas novamente pela vegetação em velocidade maior que nos demais ambientes, em decorrência das melhores condições de precipitação, de modo que este não contribui consideravelmente para o aumento do albedo e da poeira atmosférica.

As Cristas Residuais e Inselbergs são ambientes que naturalmente apresentam uma ecodinâmica tendente a instável. A elevada declividade, associada à baixa profundidade dos solos e baixa permeabilidade das rochas, confluem como condicionantes para a natural instabilidade desse ambiente. O único fato que atua em favor de maior estabilidade é a

cobertura vegetal. A baixa atratividade das Cristas residuais e Inselbergs para atividades agrícolas leva a uma boa conservação das caatingas que os recobrem.

Apesar de altamente suscetíveis aos processos de desertificação, as Cristas Residuais e Inselbergs se apresentam em bom estado de conservação da vegetação, não gerando significativos *feedbacks* de desertificação entre superfície e atmosfera.

A partir dos resultados, é possível verificar que os mecanismos antrópicos de avanço da desertificação são mais atuantes em ambientes que apresentam maiores potencialidades. A intensidade dos impactos se mostrou inversamente proporcional aos níveis de estabilidade de cada ambiente. Os mecanismos de *feedbacks* entre superfície e atmosfera ocorrem em todo o município, contudo tendem a se concentrar em áreas com maiores potencialidades de recursos hídricos.

Dois áreas se destacaram no tocante aos mecanismos de retorno entre superfície e atmosfera, sendo estas a porção leste e sul de Crateús. Ambas as áreas apresentam elevados níveis de degradação dos solos e da vegetação em manchas espacialmente concentradas. Especificamente a região sul apresenta maior destaque para o albedo em função da elevada refletância dos Neossolos Quartzarênicos expostos.

## 7 DINÂMICA ESPAÇO TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO EM CRATEÚS

Assim como foi discutido no tópico 1.2.3, a fim de conferir maior robustez à análise, optou-se pela adoção de duas escalas de análise dos dados.

A primeira atendeu perfeitamente aos critérios de longevidade da série histórica superior a 40 anos e não apresentou falhas, possuindo, contudo, um único posto como objeto de análise. A segunda atendeu ao critério de expressividade de postos necessários para interpolação espacial, onde se buscou manter, tanto quanto possível, a longevidade da série histórica e baixa proporção de dados faltosos, resultando na seleção de 11 postos com registros de 19 anos de precipitação, quase todos com menos de 20% de dados faltosos.

### 7.1 Dinâmica temporal da pluviometria entre 1974 e 2019

O posto utilizado para as análises foi o posto 42 - Crateús da FUNCEME. Ele possui uma série de 46 anos (1974 a 2019), sem falhas.

#### 7.1.1 Estatísticas descritivas

Uma vez que a análise realizada nessa escala temporal foi feita a partir de um único posto, buscou-se realizar uma estatística descritiva mais detalhada, de forma que, além da média e do coeficiente de variação, foram analisadas outras estatísticas descritivas dos dados, como mediana, desvio padrão, valores mínimos, máximos e amplitude. Os valores calculados foram organizados na Tabela 2:

**Tabela 2 - Estatísticas descritivas da pluviometria do posto 42 localizado na sede de Crateús**

Estatísticas descritivas						
Média	Mediana	Desvio padrão	Intervalo	Mínimo	Máximo	Coefficiente de Variação
689,03	656,65	291,13	1200,5	177	1377,5	42,25 %

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da Funceme.

A média de precipitação registrada no posto Crateús entre 1974 e 2019 foi de 689,03 mm por ano, tendendo a variar 291,13 mm para menos ou para mais (valor correspondente ao desvio padrão), o que implica em uma variabilidade de 42,25% em relação

à média (coeficiente de variação). Apesar da grande variabilidade dos dados marcados por elevada discrepância entre os valores mínimos e máximos, é possível verificar que a média capta bem a tendência central de precipitação, uma vez que se encontra bastante próxima da mediana (656,65), que é uma medida mais robusta a valores extremos.

De forma geral, as estatísticas descritivas deixam claro que o município de Crateús apresenta baixos níveis de precipitação e elevada variabilidade pluviométrica. Essas duas características não se apresentam, necessariamente, como manifestações do avanço da desertificação, uma vez que se configuram como características típicas do clima semiárido, que é oficialmente delimitado pelos níveis de precipitação iguais ou inferiores a 800 mm (BRASIL, 2021), e apresenta a variabilidade interanual como característica marcante (SOUZA, 2000). Cabe, contudo, destacar que coeficientes de variação superiores a 40% são característicos de áreas periféricas de desertos (HARE, 1992).

#### 7.1.2 Resultado da Regressão

O resultado da regressão<sup>7</sup> realizada com a média móvel dos dados foi um modelo estatisticamente válido a um nível de significância de 0,05. O valor do intercepto foi de 779,18 (válido a um nível de significância de 0,01), o coeficiente angular estimado foi de -4,41 (válido a um nível de significância de 0,05).

Desse modo, o modelo que explica o comportamento da precipitação no período analisado é

$$Pr = 779,18 - 4,41 * A$$

Sendo:

Pr = precipitação

779,18 = tendência inicial da precipitação

-4,41 = valor da diminuição da precipitação por ano

A = ano da observação<sup>8</sup>

Conforme é possível observar no modelo, a série se inicia apresentando valores que variavam em torno de 779,18 mm. A cada década apresentou uma expressiva retração em

<sup>7</sup> O modelo estimado atendeu a praticamente todos os pressupostos necessários à sua validade. O único pressuposto que não foi completamente atendido foi o de ausência de autocorrelação entre os resíduos, no entanto, o gráfico ACF apresentou apenas três *legs* de resíduos com correlação significativa, os demais se configuraram como *white noise*, levando a entender que não há um problema de autocorrelação entre os resíduos prejudicial ao modelo.

<sup>8</sup> O ano que se deve levar em conta não é o do calendário, mas sim o valor do deslocamento frente ao início da amostra. Ex: ano 1, 2, 3... 40...

torno de -44,1mm, resultando em uma tendência central final de 580,73 mm em 2019. Caso venha a se manter essa mesma tendência de precipitação, o prognóstico será uma precipitação de 523,4 mm no início da próxima década (2030).

Os resultados deixam bastante claro que, de fato, existe uma tendência de declínio da precipitação marcada pela retração de 4,41 milímetros como tendência central para cada ano. A explicação mais plausível para esse comportamento está ligada ao processo histórico de degradação ambiental que vem ocorrendo na região dos Inhamuns/Crateús.

Relevantes estudos já têm, de longa data, alertado para as implicações dos processos de degradação nessa região. Em 1993, em estudo realizado pela FUNCEME, foram analisadas imagens de satélite entre as décadas de 70 e 90. Através da análise dessas imagens orbitais, juntamente com as observações de campo, constatou-se grande devastação da vegetação nativa e severidade dos processos erosivos (CEARÁ, 1993). Em estudo mais recente, também focado na análise temporal de imagens de satélite, Bezerra *et al* (2020) identificaram uma significativa expansão das áreas designadas pelo estudo como potencialmente em degradação/desertificação.

Ao que se pode inferir à luz dos dados coletados e pesquisas realizadas, é que dentre os processos de degradação, a supressão da vegetação atuou como fator decisivo no estabelecimento da dinâmica climática regressiva. A perda de vegetação encontra-se associada a fatores diretamente relacionados à redução da precipitação, como a diminuição da evapotranspiração (ELTAHIR e BRAS, 1996). Importantes estudos também destacam o efeito da retirada da vegetação na exposição dos solos, provocando uma redução da capacidade de retenção da energia solar decorrente do aumento do albedo de superfície, contribuindo para a inibição dos processos convectivos (CHARNEY 1975; CHARNEY, STONE e QUIRK, 1975 e CHARNEY *et al* 1977).

Estudos semelhantes a esse foram realizados por Conti (1995), analisando tendências de chuvas em 237 postos pluviométricos dispersos pelo semiárido nordestino. Os resultados desses estudos apontaram para uma clara correlação espacial entre áreas degradadas e diminuição de chuvas. Em trabalho realizado por Hiera, Lima Júnior e Zanella (2019), foram analisadas tendências de regiões climaticamente homogêneas do estado do Ceará entre 1974 e 2016. Comparando as tendências verificadas nesse estudo com o mapeamento das áreas em processo de desertificação do Ceará (CEARÁ, 2009), é possível aferir que todas as regiões que concentram municípios em estado grave de avanço da desertificação apresentaram tendências negativas do volume pluviométrico.

Quanto à perspectiva de se manter a atual tendência de declínio para a próxima década, existe concordância com os resultados obtidos e as projeções realizadas pelo IPCC (2021) para o Nordeste da América do Sul, que preveem diminuição das chuvas, intensificação das secas e aumento da temperatura média.

## **7.2 Análise espaçotemporal da pluviometria entre 2001 e 2019**

Os dados utilizados para as análises foram as séries temporais de precipitação de 9 postos da Fundação Cearense de Meteorologia situados em Crateús e municípios vizinhos, sendo eles: postos 42, 213, 356, 378, 655, 658, 686, 692 e 693.

Os dados, inicialmente disponibilizados no formato TXT, com os valores diários de precipitação, foram exportados para o *Excel*, onde foram calculados os totais anuais (escala utilizada para análise dos dados) e posteriormente exportados para o software *Rstudio*, onde foram realizados os cálculos estatísticos.

### **7.2.1 Espacialização das médias de precipitação**

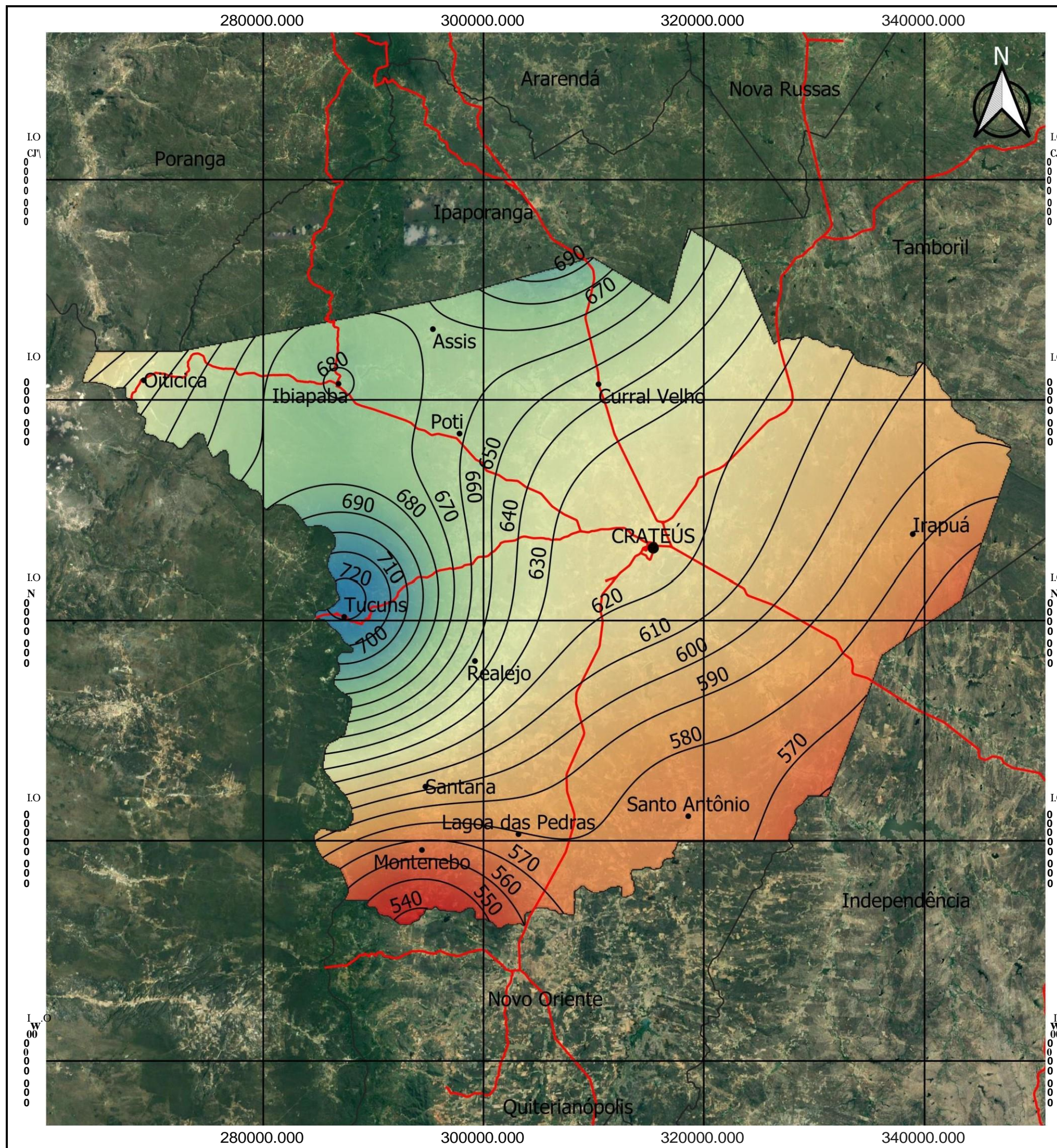
A partir do mapa da distribuição espacial da precipitação em Crateús, é possível verificar que o sistema ambiental que possui maiores níveis de precipitação é o planalto da Ibiapaba, com precipitação média de 720mm anuais. Havendo apenas um posto disponível para o cálculo das isoietas, formou-se uma representação mais pontual sobre a região dos Tucuns onde o posto se situa. Contudo, tomando como base critérios fitoclimáticos, se faz possível realizar as seguintes inferências: o valor de precipitação registrada no posto situado na comunidade de Tucuns tende a ser padrão para toda a extensão do reverso imediato do Planalto Cuestiforme da Ibiapaba, onde existe o predomínio da mata seca, tendendo a uma diminuição da precipitação na medida em que há um deslocamento para o sentido oeste, onde o agravamento da semiaridez é percebido pelo predomínio da vegetação de “carrasco”.

Nenhum outro compartimento ambiental apresenta influências topoclimáticas nos níveis de precipitação, fato que justifica um padrão de agravamento climático da semiaridez, à medida que há um distanciamento da Ibiapaba e aproximação do núcleo de desertificação dos Inhamuns. O único setor que não segue esse padrão é a região sul de Crateús, onde se verificam as menores médias de precipitação (540 mm), mesmo estando situado no sopé da Ibiapaba. Os baixos índices de precipitação nessa região estão possivelmente associados a um

resultado da diminuição da precipitação, dado que esta porção do município é uma das que vêm sofrendo maiores níveis de degradação ambiental.



Figura 57 - Mapa da espacialização das médias de precipitação



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
 UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
 PRO-REITORIA DE PÓS GRADUAÇÃO E PESQUISA  
 CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
 PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ProGeo**

---

Titulo da Tese:  
 INDICADORES DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/DESERTIFICAÇÃO  
 NO MUNICÍPIO DE CRATEUS - UMA ABRORDAGEM SISTEMÁTICA  
 PAUTADA NO DPSIRE NA ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA.

---

Titulo do mapa:  
 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO EM  
 CRATEUS-CE

---

Autor: DIEGO TEIXEIRA DE ARAUJO

---

Orientador: MARCOS JOSÉ NOGUEIRA DE SOUZA

---

Coorientadora: VILAFIA PINTO VIDAL DE OLIVEIRA

---

**CONVENÇÕES CARTOGRAFICAS**

- Sede de Crateus
- Sedes distritais
- Estradas Pavimentadas
- Drenagens Principais
- Corpos hídricos
- Q Perímetro Crateus
- Q Limites Municipais

---

**LEGENDA**

- **ISOIETAS**

**GRADIENTE DE PRECIPITAÇÃO**

- 537,8381
- D 583,8568
- D 629,8755
- D 675,8943
- 721,9130

---

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da Fundação Cearense de Meteorologia-FUNCEME (2019); IPECE (2009; 2019); e imagem de satélite disponibilizada pelo Google Earth (2021)

---

10 0 10 20 km

Sistema de projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
 Datum vertical: IBITUBA - S. CATARINA  
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, zona 24 S

APOIO:

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 7.2.2 Variabilidade da precipitação

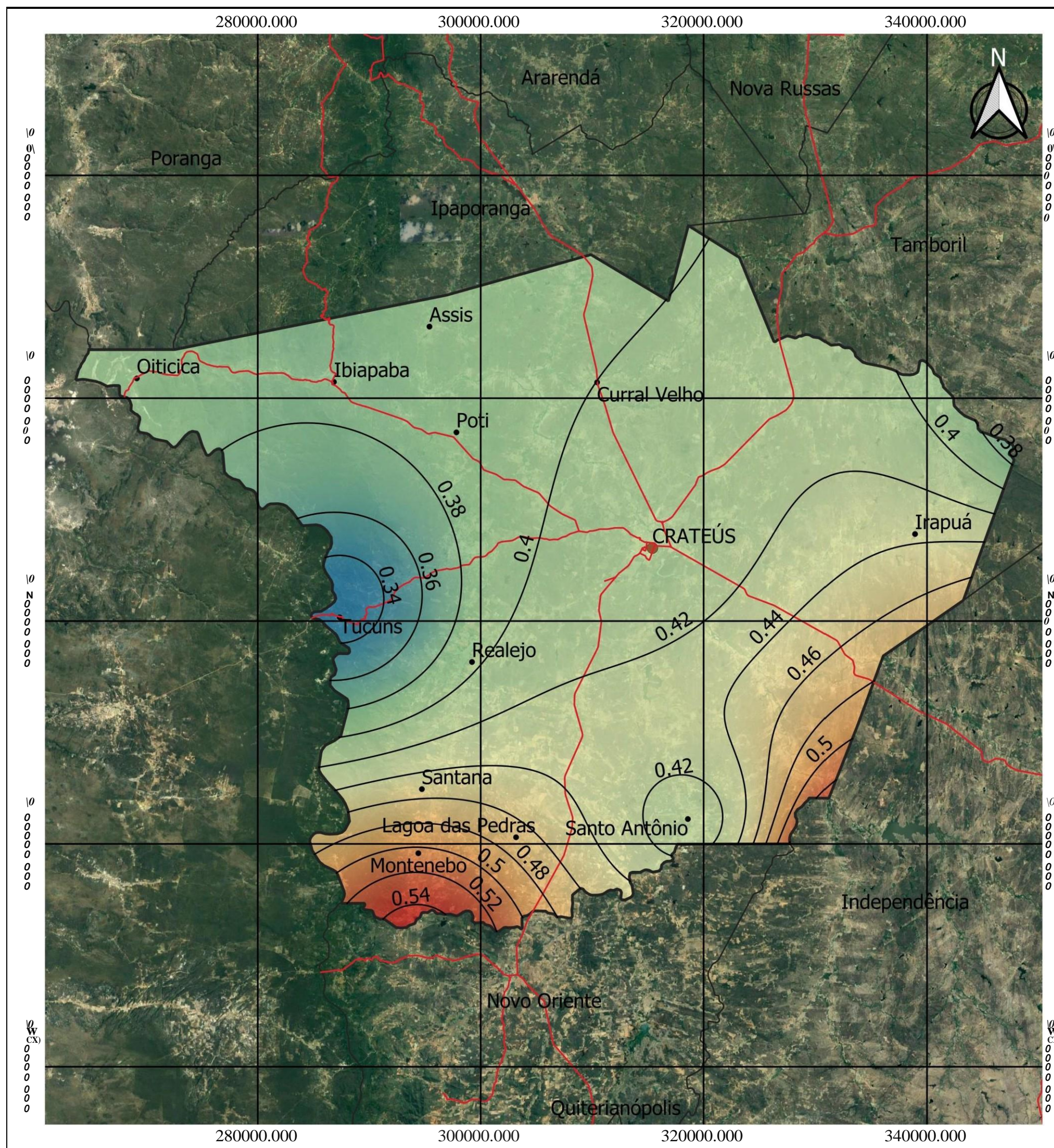
Através da análise do mapa da distribuição espacial da variabilidade da precipitação (Figura 59), construído através da interpolação dos coeficientes de variação dos postos analisados, é possível observar que a variabilidade da precipitação apresenta uma correlação negativa com os níveis de precipitação. As áreas que apresentaram menores níveis de precipitação mostram uma maior variabilidade.

A distribuição espacial da variabilidade climática tende a uma lógica inversa ao comportamento da distribuição das médias de precipitação, se refletindo em um aumento da variabilidade de leste a oeste do município.

A porção mais ao sul de Crateús, próximo à localidade de Montenebo, também se mostra como um ponto de contraste ao padrão geral do município, apresentando a mais elevada variabilidade.

De acordo com Hare (1992), coeficientes de variação superiores a 40% são característicos de áreas periféricas de desertos. Desse modo, a maior parte do município de Crateús apresenta uma variabilidade climática equiparável a zonas situadas à margem de desertos.

Figura 58 - Distribuição espacial da variabilidade da precipitação em Crateús



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
 UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ  
 PRO-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
 CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**ProGeo**

---

**Titulo da Tese:**  
 INDICADORES DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL/DESERTIFICAÇÃO NO MUNICÍPIO DE CRATEÚS - UMA ABRORDAGEM SISTEMÁTICA PAUTADA NO DPSIR EM ANÁLISE AMBIENTAL INTEGRADA.

---

**Titulo do mapa:**  
 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA VARIABILIDADE DAS CHUVAS EM CRATEÚS - CE

---

**Autor:** DIEGO TEIXEIRA DE ARAÚJO

---

**Orientador:** MARCOS JOSÉ NOGUEIRA DE SOUZA

---

**Coorientadora:** VILHA PINTO VIDAL DE OLIVEIRA

---

**CONVENÇÕES CARTOGRAFICAS**

- Sede de Crateús
- Sedes distritais
- Estradas Pavimentadas
- Drenagens Principais
- Corpos hídricos
- Perímetro Crateús
- Limites Municipais

---

**LEGENDA**

ISOLINHAS DE VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO

GRADIENTE DE VARIABILIDADE

- 0,3306
- D 0,3847
- D 0,4387
- D 0,4927
- 0,5468

Fonte: Elaborado pelo autor com dados da Fundação Cearense de Meteorologia - FUNCEME (2019); IPECE (2009; 2019); e imagem de satélite disponibilizada pelo Google Earth (2021)

---

**10 0 10 20 km**

Sistema de projeção: Universal Transversa de Mercator - UTM  
 Datum vertical: IBITUBA - S. CATARINA  
 Datum Horizontal: SIRGAS 2000, zona 24 S

**APOIO:**

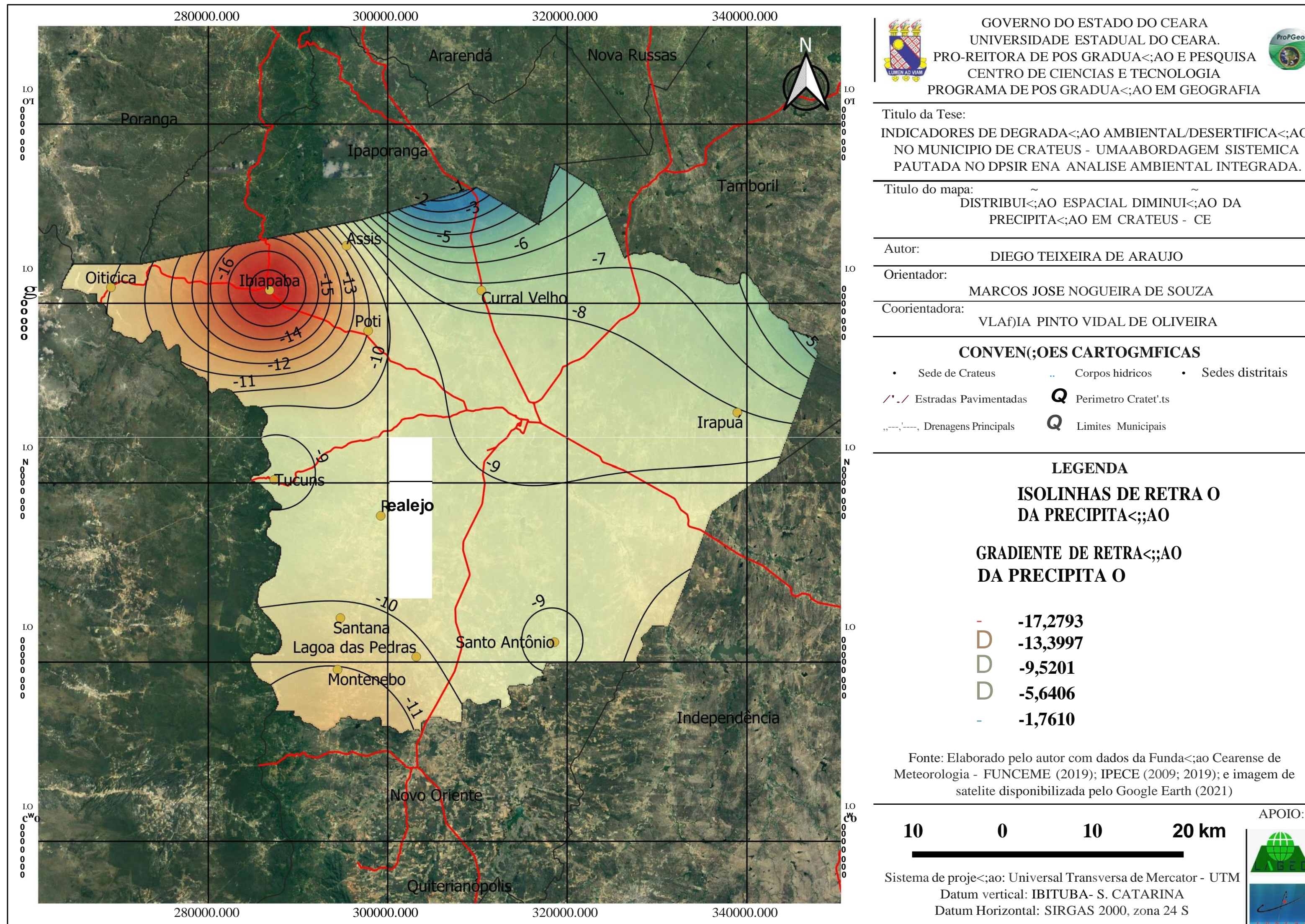
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 7.2.3 Tendência da precipitação

Os resultados das regressões realizadas para estimar o coeficiente de perda anual de precipitação não foram estatisticamente válidos, somando-se a isso, todos os modelos gerados violaram um ou mais pressupostos necessários para a validade das análises, fato que demonstra que análises realizadas em séries temporais de precipitação, com intervalos de observação inferiores a 30 anos, apresentam resultados inconclusivos.

Todavia, optou-se por dar continuidade no delineamento metodológico planejado de gerar a interpolação espacial dos coeficientes de diminuição da precipitação. Os resultados obtidos devem, contudo, ser analisados com bastante parcimônia. A baixa confiança inferida aos coeficientes dos modelos leva a um produto cartográfico final que pode ser entendido como uma aproximação da realidade, com implicações práticas que não podem ir muito além do presente estudo acadêmico, que objetiva explorar o máximo do que a base de dados permite.

Figura 59 - Distribuição espacial da diminuição da precipitação em Crateús



Fonte: Elaborado pelo autor.

De modo geral, é possível verificar que a totalidade do município apresentou tendência negativa de precipitação nas duas últimas décadas. Apesar da tendência unilateral da precipitação, existe elevada variabilidade nos coeficientes encontrados gerando contraste expressivo entre os maiores e menores valores que se encontram paradoxalmente dispostos em zonas geograficamente próximas.

A maior parte do município apresenta uma retração da precipitação superior a 8mm ao ano. As áreas onde as perdas foram inferiores a esse valor se encontram nas porções norte e nordeste de Crateús, com os valores mais atenuados na porção norte.

Três áreas apresentaram destaque quanto aos valores de retração da precipitação elevados, a partir de 10 mm/ano: porção sudeste, próximo à fronteira com o município de Independência com a retração de 10 mm ano; porção sudoeste, nas proximidades do distrito de Montenebo chegando a 11, e porção leste, próximo à região do cânion do rio Poti apresentando uma retração de 17 mm ano.

O primeiro fator que se deve levar em conta na compreensão do arranjo espacial dos níveis de retração da precipitação é a disposição da localização de Crateús em relação ao núcleo de desertificação dos Inhamuns. Parece haver uma zona de influência da mancha de degradação dos Inhamuns que se manifesta a partir da direção predominante dos alísios na região, formando uma zona de ressecamento de sudeste para noroeste, explicando o agravamento no ressecamento nas proximidades com Independência e atenuação nas porções situadas a norte e nordeste de Crateús.

O segundo fator a se levar em conta são os processos de degradação ambiental que ocorrem no próprio município. A porção sul de Crateús foi uma das que mais avançou no processo de desmatamento. A presença forte de manchas de Neossolos Quartzarênicos contribuiu para a elevação do albedo nas áreas desmatadas, levando a um maior destaque nos processos internos de inibição dos mecanismos de formação de chuva.

Um fato constatado na análise, mas que se apresenta como achado, e não era esperado pelas hipóteses inicialmente delineadas para esta pesquisa, é que a região do cânion do rio Poti foi a que apresentou maior diminuição da precipitação.

À luz da bibliografia disponível, uma hipótese plausível é a de que o cânion possui naturalmente um papel importante no delineamento dos padrões climáticos de acoplamento entre superfície e atmosfera, atuando como válvula de alívio de pressão regional, inibindo os processos convectivos e a formação de chuvas orográficas locais através da canalização de massas de ar, que possivelmente subiriam à Ibiapaba. Desse modo, os processos de degradação da vegetação, que ocorrem nessa área, contribuem para uma

diminuição da rugosidade da superfície, gerando um *feedback* extra da vegetação para o clima, expresso pela potencialização da atuação do cânion como válvula de alívio de pressão regional.

## 8 CONCLUSÕES

A metodologia proposta, pautada na análise ambiental integrada associada à análise de séries temporais de precipitação, atendeu aos objetivos propostos na presente pesquisa.

O diagnóstico geoambiental forneceu melhor compreensão sobre a configuração da área de estudo, assim como a dinâmica de inter-relações entre os atributos que compõem as unidades de paisagem. A utilização dos sistemas ambientais, como unidades de análise da dinâmica de degradação ambiental/desertificação da superfície, se mostrou decisiva para melhor compreensão da dinâmica do avanço das áreas degradadas/desertificadas, ao passo que a espacialização dos dados de precipitação, extraídos das séries temporais, permitiu importantes inferências acerca da compreensão da dinâmica de influência da ASD dos Inhamuns no município de Crateús.

No que se refere à hipótese inicialmente considerada, de que “A degradação ambiental/desertificação tem se ampliado no município de Crateús em função do uso desordenado que vem ocorrendo no município e na ASD dos Inhamuns”, foi considerada verdadeira à luz dos resultados obtidos.

Da abordagem procedida ao longo do texto, é possível discernir alguns pontos julgados importantes para o conhecimento físico-geográfico do município de Crateús e para melhor compreensão do comportamento do avanço da desertificação.

- 1) Crateús possui uma grande diversidade de ambientes com características naturais bastante próprias. Ao todo, foram identificados 5 sistemas ambientais: Planícies Ribeirinhas; Tabuleiros Interiores; Sertões de Crateús; Cristas Residuais e Inselbergs, e Planalto da Ibiapaba.
- 2) Cada sistema ambiental apresenta padrões próprios de intervenção antrópica, ligada aos processos degradacionais. Sistemas dotados de melhores condições hídricas e maiores facilidades à mecanização agrícola apresentaram maior pressão de uso. Cada unidade de paisagem também apresentou diferentes níveis de degradação para um mesmo tipo de pressão, evidenciando diferentes suscetibilidades dos ambientes às pressões antrópicas.
- 3) Assim como sugere a literatura (CHARNEY, 1975; SHUKLA e MINTZ, 1982; XUE, LIOU e KASAHARA, 1990; ELTAHIR e BRAS, 1996; WANG e ELTAHIR, 2000; NICHOLSON, 2000; ROSENFELD, RUDICH e LAHAV,



2001), as perdas da vegetação se refletiram em uma diminuição da precipitação, ocasionada pelos mecanismos de *feedbacks* entre superfície e atmosfera. A análise da série do posto Crateús ao longo de 40 anos indicou uma redução média da precipitação de 4,41mm ao ano (alta confiança). O mesmo posto apresentou para a série histórica entre 2001 e 2019, um coeficiente de diminuição da precipitação de 8 mm ao ano (baixa confiança), indicando a possibilidade de estar havendo uma dinâmica regressiva ocasionada pelas ações antrópicas e acelerada por processos retroalimentados entre superfície e atmosfera.

- 4) No caso da persistência da mesma tendência de precipitação, verificada no decorrer de toda a série histórica (1974-2019) do posto Crateús (posto 42), o prognóstico será uma precipitação média de 523,4 mm no início da próxima década (2030). Caso se mantenha, no entanto, a tendência verificada nos últimos 19 anos de observação (2001-2019) desse mesmo posto, o prognóstico seria de níveis de precipitação inferiores a 500 mm. Projeções realizadas pelo IPCC (2021) para o Nordeste da América do Sul corroboram os resultados obtidos, prevendo também diminuição das chuvas. O mesmo estudo indica ainda uma tendência de intensificação das secas e aumento da temperatura média.
- 5) A análise espaço-temporal da pluviometria entre 2001 e 2019 evidenciou que a maior parte do município apresentou índices de perda de precipitação superiores a 8 mm por ano (baixa confiança estatística). Nessa escala de análise, três fatores se mostraram decisivos na espacialização das perdas de precipitação – a proximidade com a ASD dos Inhamuns, a degradação da vegetação nativa, e o papel do cânion do rio Poti na dinâmica local de acoplamento entre superfície e atmosfera.

O presente estudo apresenta limitações referentes à abrangência de fatores necessários ao estudo de um processo tão complexo quanto a desertificação, o que implica em coleta, tratamento e análise de dados que se encontram disponíveis em diferentes escalas espaciais e temporais, nem sempre compatíveis com o delineamento metodológico inicialmente almejado. A questão da escala espacial de tratamento dos dados foi, sempre que possível, complementada com informações obtidas em trabalhos de campo associadas às técnicas de geoprocessamento. A escala temporal se apresenta como principal fator de

enviesamento das análises. Nesse sentido, evidencia-se a necessidade da exploração e validação dos resultados com mais partes interessadas na compreensão da dinâmica de avanço da desertificação, sobretudo, no que se refere à utilização de modelos para espacialização de coeficientes de alteração de precipitação.

Há de referir, por fim, que, apesar das limitações destacadas acima, os resultados obtidos corroboram um vasto conjunto de bibliografias (por exemplo: Conti, 1995; Ceará, 2010; FUNCEME e DNOCS, 2015; e IPCC, 2021), evidenciando para uma urgente necessidade de melhor gestão das áreas sujeitas ao avanço dos processos de desertificação.

## REFERÊNCIAS

- AB' SABER, A.N. A problemática da desertificação e da savanização no Brasil. In: AB' SABER, A.N. **Geomorfologia**. São Paulo: USP, 1977. (Caderno nº53).
- ABRAHAM, E. M; MONTAÑA, E; TORRES, L. Procedimiento y marco metodológico para la obtención de indicadores de desertificación en forma Participativa. In: ABRAHAM, E. M. e BEEKMAN, G. B. **Indicadores de la desertificación para américa del sur**. Mendoza, Argentina: Editorial Martín Fierro, 2006.
- ABRAHAM, E. M; BEEKMAN, G. B. **Indicadores de la desertificación para América del Sur**. IICA-BID ATN JF. Mendoza, Argentina: LaDyOT, 2006.
- ANDERY, M. A. et al. Para compreender a ciência: uma perspectiva histórica. **EDUC - Espaço e Tempo**, São Paulo, [s.n.], 2001.
- ATIS, E. Economic impacts on cotton production due to land degradation in the Gediz Delta, Turkey. **Land Use Policy**, [S.l.], v.23, n.2, p.181-186, 2006.
- BANCO DO NORDESTE DO BRASIL. **Proposta de dimensionamento do semi-árido brasileiro**. Fortaleza: BNB, 2005. 107p.
- BARBOSA, G. V; SILVA, T. C; FILHO, T. N; DEL'ARCO, D. M; COSTA, R. C. R. **Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do projeto RADAMBRASIL**. Salvador: RADAMBRASIL, 1982. (Boletim técnico do Projeto RADAMBRASIL. Série Geomorfologia).
- BARRETO, L. L. **Suscetibilidade ao processo de desertificação no Núcleo dos Sertões dos Inhamuns**: o caso da sub-bacia do riacho do Urubu – Mucuí – Arneiroz – CE. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.
- BENASSI, Federico et al. Population trends and desertification risk in a Mediterranean region, 1861-2017. **Land Use Policy**, [S.l.], v.95, p.104626, 2020.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. Rio de Janeiro: Vozes, 1975.
- BERTRAND, G. O. **Paisagem e geografia física global**: esboço metodológico. São Paulo: Cairu, 1972. (Cad. Ciências da Terra).
- BEZERRA, F. G. S. et al. Analysis of areas undergoing desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator. **Ecological Indicators**, [S.l.], v.117, p.106579, 2020.
- BRAGA, I. F. **Carta geológica folha SB.24-V-A-VI - Ipueiras**. Fortaleza: CPRM, 2013. (1 mapa, color. Escala 1: 100.000.).
- BRASIL. Delimitação do semiárido. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Delimitação do semiárido. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2021. Disponível em:

<https://www.gov.br/sudene/pt-br/assuntos/projetos-e-iniciativas/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 20 out. 2021.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**: folha SD. 24. Jaguaribe-Natal, 1982. 660 p. (Levantamento de Recursos Naturais).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Convenção das Nações Unidas para o combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África**. Brasília, DF: MMA, 1998.

BRASIL. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Folha sistemática Crateús**. Brasília, DF: SUDENE, 1967.

BRYAN, Elizabeth et al. Adaptation to climate change in Ethiopia and South Africa: options and constraints. **Environmental science & policy**, [S.l.], v.12, n.4, p.413-426, 2009.

CARR, David L; SUTER, Laurel; BARBIERI, Alisson. Population dynamics and tropical deforestation: state of the debate and conceptual challenges. **Population and environment**, [S.l.], v.27, n.1, p.89-113, 2005.

CARVALHO, O; NASCIMENTO, F. R. do. Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável (escala de necessidades humanas e manejo ambiental). In: GEOgraphya. **Revista da Pós-Graduação da UFF**, Niterói, RJ, p.111-126, 2004.

CASSETI, Valter. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/>. Acesso em: 21 mar. 2015.

CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N. J; SILVA M. G. A. J; DIAS, M. A. F. S. Tempo e clima no Brasil. **Oficina de Textos**, São Paulo, [s.n.], 2009.

CEARÁ. (Estado). Assembleia Legislativa. Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos. **Caderno Regional do Pacto das Águas da Sub-bacia do Médio Jaguaribe**. Fortaleza: INESP, 2009. 102p. v.6.

CEARÁ. (Estado). Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Áreas degradadas suscetíveis aos processos de desertificação no Estado do Ceará: 2ª aproximação**. Fortaleza: FUNCEME, 1993. 6p.

CEARÁ. (Estado). Ministério do Meio Ambiente. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca, PAE-CE**. Fortaleza: MMA, 2010. 372p.

CEARÁ. (Estado). Projeto Mata Branca. **Projeto de conservação e gestão sustentável do bioma caatinga nos estados da Bahia e Ceará**: mapeamento temático das áreas de intervenção direta do projeto mata branca do Estado do Ceará. Fortaleza: MMA, 2013.

CHANDLER, B. J. **Os Feitosas e o Sertão dos Inhamuns**: a história de uma família e de uma comunidade no Nordeste do Brasil. 1700-1930. Fortaleza: UFC, 1981.

CHARNEY, Jule et al. A comparative study of the effects of albedo change on drought in semi-arid regions. **Journal of Atmospheric Sciences**, [S.l.], v.34, n.9, p.1366-1385, 1977.

CHARNEY, Jule; STONE, Peter H.; QUIRK, William J. Drought in the Sahara: a biogeophysical feedback mechanism. **Science**, [S.l.], v.187, n.4175, p.434-435, 1975.

CHARNEY, Jules G. Dynamics of deserts and drought in the Sahel. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, [S.l.], v.101, n.428, p.193-202, 1975.

CHOOBARI, O. Alizadeh; ZAWAR-REZA, Peyman; STURMAN, Andrew. The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review. **Atmospheric Research**, [S.l.], v.138, p.152-165, 2014.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Análise de sistemas em geografia: geomorfologia**. São Paulo: HUCITEC, 1979.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. Modelagem de sistemas ambientais. In: CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

CONTI, José Bueno. Desertificação em áreas tropicais. In: ENCUESTRO DE GEOGRAFOS DA AMERICA LATINA, 3. 1991. Toluca, México. **Anais [...]**. Toluca, México: UAEM, 1991.

CONTI, José Bueno. **Desertificação nos trópicos: proposta de metodologia de estudo aplicada ao nordeste brasileiro**. 1995. 175 f. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

COSTA, F. G. **Mapa geológico folha Crateús SB.24-V-C-III**. Fortaleza: CPRM, 2011. (1 mapa, color. Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil-PGB.).

COSTA, L. R. F. **Estruturação geoambiental e susceptibilidade à desertificação na sub-bacia hidrografia do Riacho Santa Rosa – Ceará**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

AVALCANTE, José Carvalho. et al. **Mapa geológico do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2003. (Escala 1:500.000.).

CRISPIM, Andrea Bezerra; SOUZA Marcos José Nogueira de. Vulnerabilidade Ambiental e Aspectos Geoambientais no Vale do Pacoti – CE. In: ENCONTRO NACIONAL DE GEÓGRAFOS: ENTRE ESCALAS, PODERES, AÇÕES, GEOGRAFIAS, 2012. Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: ENG, 2012.

D'ODORICO, Paolo et al. Global desertification: drivers and feedbacks. **Advances in water resources**, [S.l.], v.51, p.326-344, 2013.

DIRMEYER, Paul A; BRUBAKER, Kaye L. Characterization of the global hydrologic cycle from a back-trajectory analysis of atmospheric water vapor. **Journal of Hydrometeorology**, [S.l.], v.8, n.1, p.20-37, 2007.

ELTAHIR, Elfatih AB; BRAS, Rafael L. Precipitation recycling. **Reviews of geophysics**, [S.l.], v.34, n.3, p.367-378, 1996.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**, Rio de Janeiro, v.3, 2013.

EVANS, Jason P; MENG, Xianhong; MCCABE, Matthew F. Land surface albedo and vegetation feedbacks enhanced the millennium drought in south-east Australia. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S.l.], v.21, n.1, p. 409-422, 2017.

FANON, Frantz. **Os condenados da terra**. São Paulo: Civilização Brasileira, 1968.

FERNANDES, A. **Fitogeografia brasileira**: províncias florísticas. Fortaleza: Realce, 2006. (2ª. parte.).

FORGIARINI, L. L; BRAGA, I. F. **Carta geológica da folha Independência, SB.24-V-D-I**. Fortaleza: CPRM, 2011. (1 mapa, color. Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil – PGB.).

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Séries históricas**. Fortaleza: FUNCEME, 2020. Disponível em: [http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Download\\_de\\_series\\_historicas/DownloadChuvasPublico.php](http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Download_de_series_historicas/DownloadChuvasPublico.php). Acesso em: 05 jun. 2020.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Zoneamento ecológico-econômico das áreas susceptíveis à desertificação**. Fortaleza: FUNCEME, 2015. 290p. (Núcleo II – Inhamuns.).

HAIR JR., J. F; ANDERSON, R. E; TATHAM, R. L; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 583p.

HARE, F. Kenneth; WARREN, Andrew; MAIZELS Judith K; Kates, R. W; JOHNSON, D. L; HARING, K, Johnson; GAUDUÑO, Manuel Anaya. **Desertificação**: causas e consequências. Lisboa: Fundação Clouse Gulbenkian, 1992.

HIERA, Mitchel Druz; JÚNIOR, Antonio Ferreira Lima; ZANELLA, Maria Elisa. Análise da tendência da precipitação no Estado do Ceará no período 1974 a 2016. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v.24, 2019.

HUANG, Jianping et al. Drylands face potential threat under 2 C global warming target. **Nature Climate Change**, [S.l.], v.7, n.6, p.417-422, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Agricultura, pecuária e outros**. Brasília, DF: IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria.html>, Acesso em: 05 jun. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge: University Press, 2021.

IPLANCE. **Atlas do Ceará.** Fortaleza: IPLANCE, 1997.

JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ALMEIDA, Jerônimo Cunha; MEDEIROS, Luiz Alberto Regueira. **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará.** 1973.

JUAN, Gui et al. Water resources significance of moisture recycling in the transition zone between Tibetan Plateau and arid region by stable isotope tracing. **Journal of Hydrology**, [S.l.], v.605, p.127350, 2022.

JUNIOR, Audivan Ribeiro Garces et al. Análise comparativa dos eventos pluviométricos intensos em Fortaleza/CE e São Luís/MA no período de 1987 a 2017. **Revista GeoUECE**, [S.l.], v.9, n.17, p.70-86, 2020.

KAIRIS, O. et al. Evaluation and Selection of Indicators for Land Degradation and Desertification Monitoring: Methodological Approach. **Environmental Management**, [S.l.], v.54, n.5, p.971–982, 2013.

KAUFMAN, Yoram J; TANRÉ, Didier; BOUCHER, Olivier. A satellite view of aerosols in the climate system. **Nature**, [S.l.], v.419, n.6903, p.215-223, 2002.

KOK, Jasper F. et al. Global and regional importance of the direct dust-climate feedback. **Nature Communications**, [S.l.], v.9, n.1, p.1-11, 2018.

LEE, Seung-Jae; BERBERY, Ernesto Hugo. Land cover change effects on the climate of the La Plata Basin. **Journal of Hydrometeorology**, [S.l.], v.13, n.1, p.84-102, 2012.

LEITE, F. A. B; LEITE, F. R. B; GOMES, E. C. B; BRAGA, E. L; BARRETO, M. M. S; MOTA, F. O. B; ROMERO, Ricardo Espíndola. Solos do Estado do Ceará: atualização taxonômica-Parte II. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. 2007, Gramado,RS. **Anais [...]**. Gramado, RS: SBCS, 2007.

LEITE, F. R. B; GOMES, E. C. B; BRAGA, E. L; LEITE, F. A. B; BARRETO, M. M. S; MOTA, F. O. B; ROMERO, Ricardo Espíndola . Solos do Estado do Ceará: Atualização Taxonômica-Parte I. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. 2007, Gramado,RS. **Anais [...]**. Gramado, RS: SBCS, 2007.

MAIA, R. P; CASTRO, H. S. Erosão diferencial e propriedades geomorfológicas das rochas exemplos do NE Brasileiro. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S.l.:s.n.], 2016.(Mapa Exploratório/Reconhecimento de solos do estado do Ceará, escala de 1:600.000; Ministério da Agricultura 1972.).

MATALLO JUNIOR, H. **Indicadores de desertificação: histórico e perspectivas.** Brasília, DF: UNESCO, 2001.

MELO, C. C. F.; CRUZ, M. L. B. Conflitos territoriais entre famílias que motivaram a migração interna nos sertões dos Inhamuns – Ceará. **Revista Equador UFPI**, [S.l.], v.3, n.2, p.62-81, jul./dez. 2014

MENG, X. H.; EVANS, J. P.; MCCABE, M. F. The impact of observed vegetation changes on land-atmosphere feedbacks during drought. **Journal of Hydrometeorology**, [S.l.], v.15, n.2, p.759-776, 2014.

MENG, X. H.; EVANS, Jason P; MCCABE, M. F. The influence of inter-annually varying albedo on regional climate and drought. **Climate dynamics**, [S.l.], v.42, n.3, p.787-803, 2014.

MICHAEL, CHERLET. et al. **World atlas of desertification**. 2018.

MIDDLETON, N; KANG, U. Sand and dust storms: impact mitigation. **Sustainability**, [S.l.], v.9, n.6, p.1053, 2017.

NASCIMENTO, F. R. **O fenômeno da desertificação**. Goiânia: UFG, 2013.

NICHOLSON, Sharon. Land surface processes and Sahel climate. **Reviews of Geophysics**, [S.l.], v.38, n.1, p.117-139, 2000.

NIETO, Raquel; GIMENO, Luis; TRIGO, Ricardo M. A Lagrangian identification of major sources of Sahel moisture. **Geophysical Research Letters**, [S.l.], v.33, n.18, 2006.

NIMER, Edmon. Climatologia da Região Nordeste do Brasil: introdução climatologia dinâmica: subsídios à geografia regional do Brasil dinâmica. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v.34, n.2, abr./jun. p.3-51, 1972. (Tradução da 5ªed. americana 2004, Thompson Learning.).

OECD, S. J. Towards sustainable development. Indicators to measure progress. In: **Proceedings of the OECD Rome Conference**. 2000. p.1-420.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. Piracicaba: FEALQ, 2008.

OLIVEIRA, Jorge Ricardo Felix de. **O clima urbano em cidade de pequeno porte no semiárido cearense: o caso de Crateús**. 2020. 151 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. A Problemática da Degradação dos Recursos Naturais no Domínio dos Sertões Secos do Estado do Ceará-Brasil. In: SILVA, José Borzacchiello da; DANTAS, Eustógio Wanderlei Correia; ZANELLA, Maria Elisa; MEIRELES, Antonio Jeovah de Andrade (orgs). **Litoral e sertão**, Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.

OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Sistemas Ambientais de Santiago - Cabo Verde (África): indicadores biofísicos de Desertificação. **Mercator, UFC**, [S.l.], v.10, p.100-120, 2011.

OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de. Sistemas ambientais de Santiago, Cabo Verde, África: indicadores biofísicos de desertificação. In: OLIVEIRA, V.P.V.O. de; GOMES, I.G; BAPTISTA, I; RABELO, L.S. (Org.). **Cabo Verde: análise socioambiental e perspectivas para o desenvolvimento sustentável em áreas semiáridas**. Fortaleza: Edições UFC, 2012.



OMM. Organisation Météorologique. **Vocabulaire Météorologique**. Gênéve: Provisoire, 1959.

PEREIRA, R.C.M; SILVA, E.V. Solos e vegetação do Ceará: características gerais. In: SILVA, J.B; DANTAS, E.W.C; MEIRELES, A.J.A. (Org.). **Litoral e Sertão: natureza e sociedade no nordeste brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.

REICHARDT, Klaus. Colledge on soil physics: Soil physical properties and processes under climate change. **Soil and Tillage Research**, [S.l.], v.79, p.131-143, 2010.

RODRIGUEZ, J. M. M; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das Paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental**. Fortaleza: UFC, 2007.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geocologia das paisagens e da teoria geossistêmica**. Fortaleza: UFC, 20013.

ROLIN, Glauco de Souza; SENTELHAS, Paulo Cesar. Departamento de Ciências Exatas Área de Física e Meteorologia. **DCE-ESALQ, USP, BHseq**, [S.l.], v.6, n.4, 2006.

ROSENFELD, Daniel; RUDICH, Yinon; LAHAV, Ronen. Desert dust suppressing precipitation: A possible desertification feedback loop. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [S.l.], v.98, n.11, p.5975-5980, 2001.

ROSS, J. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para o planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

SALATI, Eneas et al. Recycling of water in the Amazon basin: an isotopic study. **Water resources research**, [S.l.], v.15, n.5, p.1250-1258, 1979.

SALVATI, L; FERRARA, C; CORONA, P. Indirect validation of the Environmental Sensitive Area Index using soil degradation indicators : A country-scale approach. **Ecological Indicators**, [S.l.], v.57, p.360–365, 2015.

SANTOS, J. O. **Fragilidade e riscos socioambientais em Fortaleza-CE: contribuições ao ordenamento territorial**. 2011. 331 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2011.

SHUKLA, Jagdish; MINTZ, Yale. Influence of land-surface evapotranspiration on the earth's climate. **Science**, v. 215, n. 4539, p. 1498-1501, 1982.

SHUKLA, Priyadarshi R. et al. **Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. 2019.

SILVA, I. R. **Variabilidade sazonal e interanual das precipitações na região sul do Brasil associadas às temperaturas dos oceanos Atlântico e Pacífico**. 2001. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) -Instituto Nacional de pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas: métodos em questão**. São Paulo: Instituto de Geografia, 1977.

SOTCHAVA, V. B. Uma teoria de classificação de geossistemas da vida terrestre. **IGEOG-USP**, São Paulo, n.14, 1978.

SOUSA, E. P. P. de. **Relações entre as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e as precipitações na Amazônia Oriental**. 2004. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

SOUZA, Marcos José Nogueira de; OLIVEIRA, V. P. V. de. O Semi-árido do Nordeste do Brasil e o Fenômeno da Seca. In: SOUZA, Marcos José Nogueira de; OLIVEIRA, V. P. V. de. **Desastres Naturales**. Mexico: Fondo de cultura Econômica, 2002. p.207-220.

SOUZA, Marcos José Nogueira de. Bases geoambientais e esboço do zoneamento geoambiental do Estado do Ceará. In: LIMA, L. C. (Org.) **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: Funece, 2000. p.06 -103.

SOUZA, Marcos José Nogueira de. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Ceará. In: LIMA, Luiz Cruz. MORAS, Jader Onofre. SOUZA, Marcos José Nogueira de. (Org). **Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará**. Fortaleza: Funece, 2000.

SOUZA, Marcos José Nogueira de. Compartimentação geoambiental do Ceará. In: SILVA, J. B; CAVALCANTE; T. DANTAS, E. (Org). **Ceará: um novo olhar geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

SOUZA, Marcos José Nogueira de. Contribuição para o estudo das unidades morfo-estruturais do Estado do Ceará. **Revista de Geologia**, Fortaleza, ano.1, n.1, 1988.

SOUZA, Marcos José Nogueira de. Geomorfologia e Planejamento ambiental. **Revista de Geografia**, Recife, v.35, n.4, p.380-396, 2018.

SOUZA, Marcos José Nogueira de. **Limitações geoambientais ao desenvolvimento sustentável do semi-árido brasileiro**. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2003.

SOUZA, Marcos José Nogueira de. Limitações geoambientais ao desenvolvimento sustentável no semi-árido brasileiro. In: SOUZA, Marcos José Nogueira de. **Transformaciones Regionales y Urbanas en Europa y America Latina**. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2003.

SOUZA, Marcos José Nogueira de; OLIVEIRA V. P. V; GRANJEIRO, C. M. Análise geoambiental. In: ELIAS, D. (Org.). **O novo espaço da produção globalizada**. Fortaleza: FUNECE, 2002. 366p.

SOUZA, Marcos José Nogueira de; OLIVEIRA, V. P. V. Análise Ambiental - Uma Prática da Interdisciplinaridade no ensino e na Pesquisa. **Rede: Revista Eletrônica do Prodema**, [S.l.], v.7, p.42-59, 2011.

SOUZA, Marcos José Nogueira de; OLIVEIRA, V. P. V. de; NASCIMENTO, F. R. do; CORREIA, L.J. Diagnóstico geoambiental do Baixo Jaguaribe In: ROSA, M. de F; GONDIM, R.S; FIGUERÊDO, M. C. B. de. **Gestão Sustentável no Baixo Jaguaribe, Ceará**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2006.

SOUZA, Marcos José Nogueira de; OLIVEIRA, V.P.V. de; GRANGEIRO, M.M.G. **Análise Geoambiental**. In: ELIAS, Denise (Org.) O novo espaço da produção globalizada: o baixo Jaguaribe. Fortaleza: Funece, 2002.

SUD, Y. C; SHUKLA, J; MINTZ, Y1. Influence of land surface roughness on atmospheric circulation and precipitation: A sensitivity study with a general circulation model. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, [S.l.], v.27, n.9, p.1036-1054, 1988.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Delimitação do semiárido**. Fortaleza: SUEDENE, 2020. Disponível em: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiarido>. Acesso em: 02 abr. 2022.

TANRIVERMIS, Harun. Agricultural land use change and sustainable use of land resources in the Mediterranean region of Turkey. **Journal of Arid Environments**, [S.l.], v.54, n.3, p.553-564, 2003.

TENGE, A. J; DE GRAAFF, J; HELLA, J. P. Social and economic factors affecting the adoption of soil and water conservation in West Usambara highlands, Tanzania. **Land Degradation & Development**, [S.l.], v.15, n.2, p.99-114, 2004.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational Classification of Climate. **The Geographical Review**, New York, v.38, p.55-94, 1948.

TRENBERTH, Kevin E. Atmospheric moisture recycling: Role of advection and local evaporation. **Journal of Climate**, [S.l.], v.12, n.5, p.1368-1381, 1999.

TRICART, J. **Ecodinâmica**, Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TRIGUEIRO, E. R. C. **Vulnerabilidade aos processos de degradação/desertificação no município de Tauá-CE. estudo de caso: escola agrícola de Tauá**. 2003, Dissertação. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

TRIGUEIRO, Eliedir Ribeiro da Cunha; OLIVEIRA, Vlândia Pinto Vidal de; Bezerra, Carlos Lineu Frota. Degradação/Desertificação no Bioma da Caatinga: Estudo de Caso no Município de Tauá, Ceará. **Revista Eletrônica do Prodema**, Fortaleza, v.3, n1, jun. 2009.

UVO, C.R.B; NOBRE, C.A. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no Norte do Nordeste do Brasil. Part II: A influência dos ventos e TSM do Atlântico Tropical. **Climanálise**, [S.l.], v.4, n. 10, p. 39-47, 1989.

VAN DER ENT, Rudi J. et al. Origin and fate of atmospheric moisture over continents. **Water Resources Research**, [S.l.], v.46, n.9, 2010.

WANG, Guiling; ELTAHIR, Elfatih AB. Biosphere: atmosphere interactions over West Africa. II: Multiple climate equilibria. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, [S.l.], v.126, n.565, p.1261-1280, 2000.

WANG, Guiling; ELTAHIR, Elfatih AB. Ecosystem dynamics and the Sahel drought. **Geophysical research letters**, [S.l.], v.27, n.6, p.795-798, 2000.

WARREN, Andrew; MAIZELS, Judith. Mudança ecológica e desertificação. In: HARE, F. Kenneth; WARREN, Andrew; MAIZELS Judith K; Kates, R. W.; JOHNSON, D. L.; HARING, K, Johnson; GAUDUÑO, Manuel Anaya. **Desertificação: causas e conseqüências**, Lisboa: Fundação Clouse Gulbenkian, 1992.

**WINDY**: wind map e weather forecast. Disponível em: <https://www.windy.com/?-4.908,-40.691,8/>. Acesso em: 21 fev. 2020.

XUE, Yongkang; LIOU, Kuo-Nan; KASAHARA, Akira. Investigation of biogeophysical feedback on the African climate using a two-dimensional model. **Journal of Climate**, [S.l.], v.3, n.3, p.337-352, 1990.

ZAITCHIK, Benjamin F. et al. Climate and vegetation in the Middle East: Interannual variability and drought feedbacks. **Journal of Climate**, [S.l.], v.20, n.15, p.3924-3941, 2007.

ZAITCHIK, Benjamin F. et al. Representation of soil moisture feedbacks during drought in NASA Unified WRF (NU-WRF). **Journal of Hydrometeorology**, [S.l.], v.14, n.1, p.360-367, 2013.

ZANELLA, M. E. Caracterização Climática e os recursos hídricos do Estado do Ceará. In: SILVA, J. B; DANTAS, E. W; CAVALCANTE, T. (Orgs.). **Ceará: um novo olhar geográfico**. 2.ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

ZENG, Ning; NEELIN, J. David. The role of vegetation–climate interaction and interannual variability in shaping the African savanna. **Journal of Climate**, [S.l.], v.13, n.15, p.2665-2670, 2000.

ZENG, Ning; YOON, Jinho. Expansion of the world's deserts due to vegetation-albedo feedback under global warming. **Geophysical Research Letters**, [S.l.], v.36, n.17, 2009.

ZHAO, Liangju et al. Contribution of recycled moisture to local precipitation in the inland Heihe River Basin. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S.l.], v.271, p.316-335, 2019.



EDITORA

**INVIVO**

**JUNTOS SOMOS +**

**[WWW.EDITORAINVIVO.COM](http://WWW.EDITORAINVIVO.COM)**