

## CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS E AVALIAÇÃO DA FRAGILIDADE CLIMÁTICA DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO CAIS (PI)<sup>1</sup>

SANTOS, Francílio de Amorim dos<sup>2</sup>; AQUINO, Cláudia Maria Sabóia de<sup>3</sup>

### RESUMO

O presente estudo objetivou delimitar a área drenada pela Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais (SBHRC), compartimentar os setores da Sub-Bacia, realizar o cálculo dos parâmetros do Balanço Hídrico (BH) e identificar os setores com maior fragilidade climática. A SBHRC possui 210 canais de 1ª ordem, 42 de 2ª ordem, 7 de 3ª ordem, 2 de 4ª ordem e 1 segmento de 5ª ordem, cuja densidade de drenagem é igual a 0,35 km/km<sup>2</sup> e densidade de rios igual a 0,1 canais/km<sup>2</sup>. A SBHRC foi dividida nos seguintes setores: setor A (alto curso), que representa 39,2% da área, setor B (médio curso) e abrange 37,7%, setor C (baixo curso) e corresponde a 23,1% da Sub-Bacia. Os dados do BH apontam que os setores A, B e C possuem, respectivamente, 32,3%, 33% e 34,5% de suas áreas com 1.000 a 1.100 mm anuais de precipitação, concentradas principalmente de janeiro a maio e ocorrência de 8 a 10 meses secos, resultando em elevadas taxas de Evapotranspiração Potencial e a Evapotranspiração Real. O setor A, B e C apresentam, respectivamente, 27,7%, 38,4% e 44,6% de suas áreas com nível alto a muito alto de aridez, resultado das peculiaridades dos climas subúmido seco e semiárido.

**Palavras-chave:** Recurso Hídrico, SIG, Balanço Hídrico (BH).

### CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTALES Y EVALUACIÓN DE LA FRAGILIDAD CLIMÁTICA DE LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO DO CAIS (PI)

**Resumen:** Este estudio tuvo como objetivo definir el área drenada por la Sub-cuenca Hidrográfica del Río do Cais (SBHRC), dividir los sectores de la Sub-Cuenca, realizar el cálculo de los parámetros del balance hídrico (BH) e identificar los sectores con mayor fragilidad climática. La SBHRC tiene 210 cauces de primer orden, 42 de segundo orden, 7 de tercer orden, 2 de cuarto orden y 1 segmento de quinto orden, cuya densidad de drenaje es igual a 0,35 km/km<sup>2</sup> y la densidad de los ríos es igual a 0,1 cauces/km<sup>2</sup>. La SBHRC se dividió en los siguientes sectores: Sector A (curso alto), lo que representa el 39,2% de la superficie, el sector B curso medio y cubre el 37,7%, el sector C (curso inferior) y corresponde al 23,1% de la Sub-Cuenca. Los datos BH muestran que los sectores A, B y C tienen, respectivamente, 32,3%, 33% y 34,5% de sus áreas con precipitación anual 1100-00 mm, concentradas principalmente de Enero a Mayo y la aparición de 8-10 meses secos, lo que resulta en altas tasas de evapotranspiración potencial y evapotranspiración real. El sector A, B y C muestran, respectivamente, 27,7%, 38,4% y 44,6% de sus áreas con alta a muy alta aridez, a consecuencia de las peculiaridades de los climas subhúmedo, seco y semiárido.

**Palabras clave:** recursos hídricos, GIS, balance hídrico (BH).

### GEOENVIRONMENTAL FEATURES AND ASSESSMENT OF CLIMATE FRAGILITY OF THE RIVER DO CAIS SUB-BASIN (PI)

**Abstract:** This present study aimed to define the area drained of the River do Cais Sub-Basin (SBHRC), partitioning of sectors from Sub-Basin, to perform the calculation of the water balance (BH) parameters and identify areas of climate weakness the sectors. The SBHRC has 210 course of 1st order, 42 of 2nd order, 7 of 3rd order, 2 of 4th order and 1 segment of 5th order, whose drainage system density is equal to 0.35 km/km<sup>2</sup> and rivers density equal to 0,1 course/km<sup>2</sup>. The SBHRC was divided in the following sectors: Sector A (upper course), representing 39.2% of the area, sector B (mid course) and covers 37.7%, C sector (lower course) and corresponds to 23.1% of the sub-basin. The HBS data indicate that the sectors A, B and C have, respectively, 32.3%, 33% and 34.5% in their areas with 1000-1100 mm from annual rainfall, mainly concentrated from January to May and the occurrence of 8-10 dry months, resulting in high rates of the potential evapotranspiration and actual evapotranspiration. The sector A, B and C show, respectively, 27.7%, 38.4%

<sup>1</sup>Parte do artigo é resultante de dados extraídos de dissertação de Mestrado defendida em fevereiro de 2015, no Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal do Piauí.

<sup>2</sup> Mestre em Geografia. Docente do Instituto Federal do Piauí – francilio.amorim@ifpi.edu.br

<sup>3</sup> Doutora em Geografia. Docente do Departamento de História e Geografia da Universidade Federal do Piauí Portela – cmsaboia@gmail.com

and 44.6% of their areas with high degrees to very high level of the aridity, a result of the peculiarities of sum-humid and semi-arid dry climates.

**Keywords:** water resources, GIS, water balance (WB).

## 1. Introdução

A bacia hidrográfica é compreendida como uma área onde a precipitação é coletada e conduzida para seu sistema de drenagem natural, havendo movimento de água superficial o que inclui todos os usos da água e do solo existentes na localidade. A delimitação dos limites da área de uma bacia hidrográfica baseia-se nos pontos que limitam as vertentes e convergem para uma mesma bacia. Desse modo, para Novo (2008), a bacia hidrográfica é uma área da superfície terrestre que é drenada por um rio principal e seus afluentes. Em outras palavras, a área de drenagem representa uma área de captação natural de água da precipitação que converge para um único ponto, o exutório. A delimitação de uma bacia hidrográfica é realizada por meio de uma carta topográfica ou através de uma imagem tridimensional do terreno. Cite-se, ainda, a divisão da bacia em sub-bacias e microbacias estas consideradas como unidades de estudo e de planejamento, ou seja, uma área drenada por um curso d'água e seus afluentes a montante de uma área de dada seção transversal.

De acordo com a Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997, Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos, a bacia hidrográfica é a unidade territorial onde deverá ser implementada a Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo a área de atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A bacia hidrográfica como unidade básica deve articular o planejamento dos recursos hídricos com o uso e planejamentos regional, estadual e nacional (BRASIL, 1997).

Segundo Christofolletti (1980), os rios funcionam como canais por onde ocorre o escoamento dos materiais intemperizados das áreas mais elevadas para as mais baixas e, também, dos continentes para o mar, sendo de suma importância no desencadeamento dos processos morfogenéticos. Para Novo (2008), os rios são canais de escoamento que concentram água e permitem sua transferência, estando sujeita a duas forças, a gravitacional e a de fricção. Os processos de erosão, deposição e transporte fluvial promovem canais com diferentes formas que resultam do ajustamento do rio ao tipo, tamanho e volume da carga sedimentar transportada, para uma determinada resistência do substrato e vazão.

De acordo com Lima (2008), qualquer área da superfície faz parte de uma bacia hidrográfica, pois seja um pequeno ou grande vale sempre existe uma área do terreno a

realizar captação da água da chuva, onde ocorrem evaporação e escoamento superficial. Desse modo, Christofolletti (1990) afirma que o clima é o elemento essencialmente fornecedor de energia para um determinado sistema ambiental, dependendo da quantidade disponível de calor e água. Para Torres (2008), os principais elementos climáticos são: a radiação solar, a insolação, a temperatura, a umidade do ar, a pressão atmosférica, os ventos, a nebulosidade e a precipitação.

De modo mais específico, os elementos responsáveis pela origem das chuvas no Nordeste do Brasil, região onde está localizada a bacia hidrográfica em estudo, são dinâmicos, sendo de 30% a 80% classificados como mecanismos de grande escala representada pelos sistemas frontais, que são responsáveis por produzir chuva para o Sul do Nordeste (SNE) e para o Leste do Nordeste do Brasil (ENE). Outro elemento que influencia a dinâmica atmosférica no Nordeste diz respeito à Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que se caracteriza por ser uma extensa área de confluência dos ventos alísios de Nordeste, originados do sistema de alta pressão ou anticiclone subtropical do Hemisfério Norte e dos ventos Alísios de Sudeste, provenientes da alta subtropical do Hemisfério Sul (MOLION e BERNARDO, 2000).

Nesse contexto, insere-se a Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais (SBHRC), que está situada no Território do Desenvolvimento dos Carnaubais (PIAUI, 2006). A referida Sub-bacia forma-se a partir da confluência dos riachos Esquisito, Seco e Nova Olinda. A SBHRC apresenta elementos geoambientais que se configuram como naturalmente frágeis, a exemplo da presença de Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Litólicos, condições climáticas com tipos subúmido seco e semiárido, com concentração de volume pluviométrico em 4 a 5 meses, além de cobertura vegetal com diferentes estágios de conservação e de regeneração.

Nesse sentido, obter conhecimentos acerca dos elementos climáticos é de suma importância para desenvolver instrumentos e/ou mecanismos de convivência com as secas periódicas, a exemplo do Balanço Hídrico (BH) que, segundo Beltrame (1994), diz respeito ao cálculo da entrada e saída de água no solo, cujo desequilíbrio resultará em danos irreversíveis aos recursos naturais renováveis. Desse modo, os objetivos do estudo foram: i) delimitar a área drenada pela Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais (SBHRC); ii) compartimentar os setores da Sub-Bacia; iii) realizar o cálculo dos parâmetros do Balanço Hídrico e iv) identificar os setores com maior fragilidade climática tomando como base os parâmetros do Balanço Hídrico.

## 2. Metodologia

### 2.1. Procedimentos para delimitação automática de bacias hidrográficas

A delimitação automática de bacias hidrográficas tem sido uma técnica bastante utilizada pelo mundo. A referida técnica utiliza-se de algoritmos que facilitam o processamento das informações, o que exige pouca intervenção de quem analisa, logo, minimiza o tempo demandado para geração das informações. Em outras palavras, as feições de drenagem e divisores de água, que são convertidas em vetores, são alvos de análises clássicas do terreno cujo objetivo está relacionado à delimitação de zonas homólogas para fins de mapeamento geológico, geomorfológico e pedológico (ALVES SOBRINHO, 2010; SILVA e MOURA, 2013).

A delimitação automática da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais (SBHRC) foi realizada no SIG *ArcGIS 10*, utilizando os Modelos Digitais de Elevação (MDE's) obtidos a partir da missão *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, cuja carta utilizada foi a SB-24-V-C. A metodologia utilizada no citado processo constou de etapas realizadas nos Menus *Spatial Analyst* e Ferramenta *Hydrology* (etapas 1 a 5), *Conversion* e ferramenta *Raster To Polygon* (etapa 6), *Analyst* e ferramenta *Extract* (etapa 7) (FIG. 1):

1ª etapa: *fill* (preencher), que consistiu no preenchimento de pequenas imperfeições nos dados SRTM;

2ª etapa: *flow direction* (direção de fluxo), que diz respeito à geração de um arquivo de direção do fluxo de cada célula;

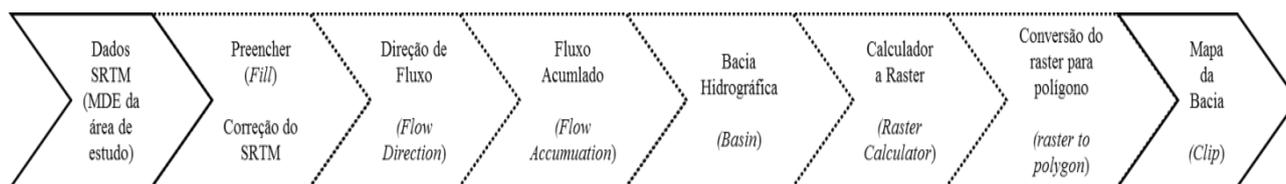
3ª etapa: *flow accumulation* (acumulação de fluxo), que gera um arquivo para determinar a acumulação de fluxo a partir do *flow direction*, criado anteriormente;

4ª etapa: *basin* (bacia hidrográfica), que representou a delimitação das bacias hidrográficas na carta SB-24-V-C;

5ª etapa: *raster calculator* (calculadora *raster*), utilizada para gerar a rede de drenagem usando o *flow accumulation* como arquivo de entrada, considerando todas as células do *raster* com valor superior a 500;

6ª etapa: *raster topolygon* (*raster* para polígono), que após a finalização dos procedimentos, anteriormente fez-se a conversão do arquivo *raster* para vetorial (polígono);

7ª etapa: *clip* (cortar) foi utilizada para selecionar apenas as feições de interesse para o estudo, ou seja, os limites e drenagem da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais (SBHRC).

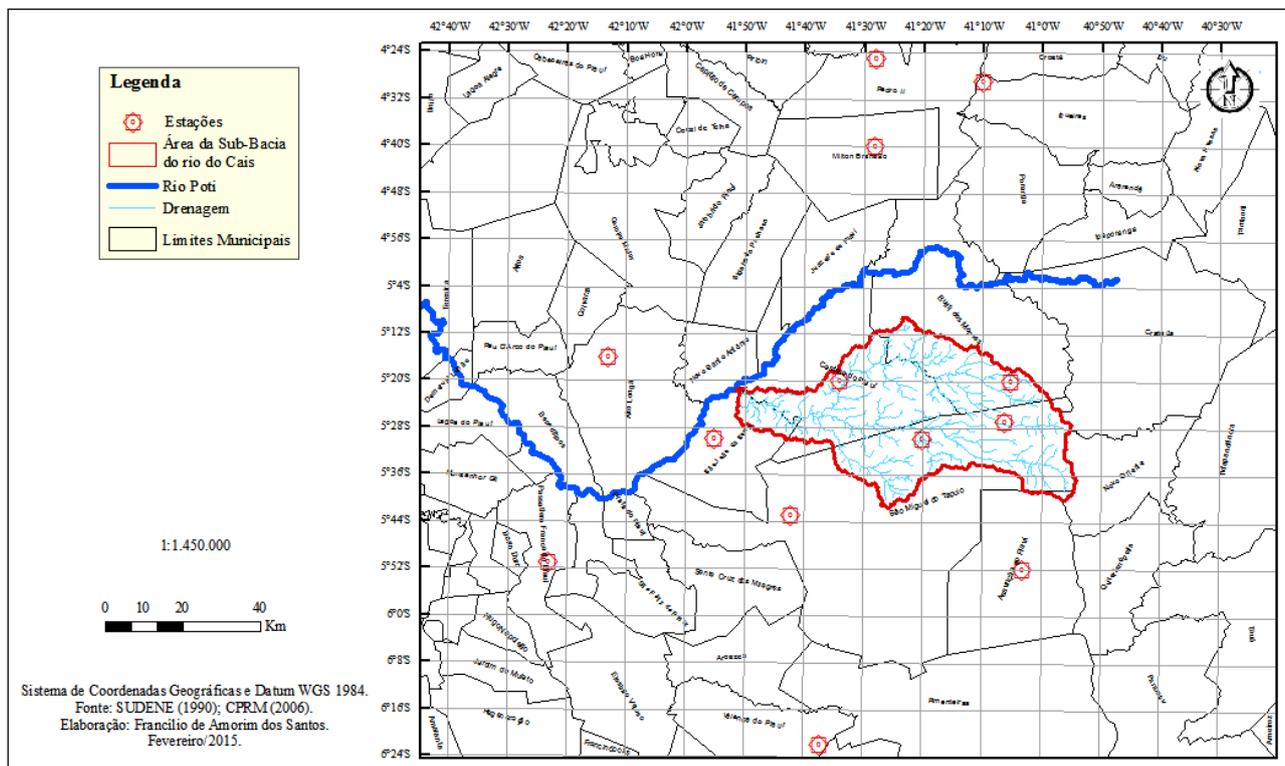


**FIGURA 1.** Etapas realizadas para delimitação da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais a partir de dados SRTM.

## 2.2. Procedimentos para realização do Balanço Hídrico (BH)

Conhecer a dinâmica das variáveis que compõem o Balanço Hídrico (BH) permite o planejamento territorial com vistas ao controle das atividades humanas (AQUINO e OLIVEIRA, 2013). A análise climática da área em estudo baseou-se nos dados de precipitações das séries anuais obtidas em SUDENE (1990) e empregados na metodologia de Thornthwaite (THORNTHWAITE e MATHER, 1955). As falhas encontradas na referida série (1963 a 1985) foram corrigidas pelo Método de Ponderação Regional proposto em Tucci (1993).

Os dados dos treze postos pluviométricos (FIG. 2) da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 1990) foram manuseados no Programa Computacional *CRIATEMP* desenvolvido por Oliveira e Sales s/d (comunicação pessoal), para estimar os valores das variáveis do BH. Os dados foram tabelados através do programa *Excel* versão 2010 e foram utilizados para a construção de isolinhas e elaboração dos mapas das variáveis do BH.

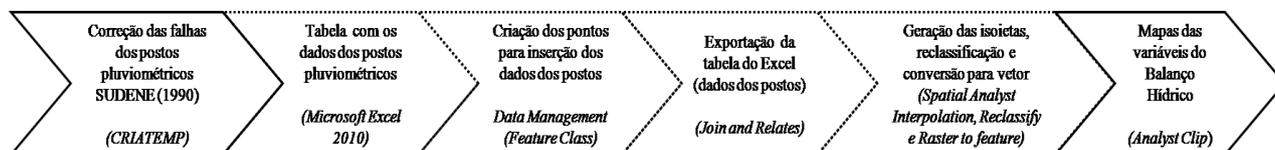


**FIGURA 2.** Estações Meteorológicas usadas para elaboração do Balanço Hídrico. Fonte: SUDENE (1990); CPRM (2006).

Os procedimentos realizados para elaboração do Balanço Hídrico foram executados no SIG *ArcGIS10*, utilizando os dados dos postos pluviométricos da SUDENE (1990), cuja operacionalização constou das seguintes etapas (FIG. 3):

- 1ª etapa: correção das falhas dos postos pluviométricos no Software *CRIATEMP*;
- 2ª etapa: criação de um arquivo no programa *Microsoft Excel 2010* com todos os dados dos postos pluviométricos;
- 3ª etapa: Menu *Data Management* e ferramenta *Feature Class*, que foi utilizado para criar treze pontos que representaram os treze postos pluviométricos da SUDENE (1990);
- 4ª etapa: Ferramenta *Join and Relates*, que foi utilizado para exportar o arquivo *Excel* dos postos pluviométricos da SUDENE (1990);
- 5ª etapa: Menu *Spatial Analyst* e ferramenta *Interpolation Spline*, cujo uso deu-se para gerar um arquivo *raster* com as isoietas relacionadas a cada índice do Balanço Hídrico;
- 6ª etapa: Menu *Spatial Analyst* e ferramenta *Reclassify*, utilizado para reclassificar as classes do arquivo *raster* gerado pela ferramenta *Interpolation Spline*;
- 7ª etapa: Menu *Spatial Analyst* e ferramenta *Raster to feature*, que foi usado para converter o arquivo *raster* em vetor (*shapefile*);

8ª etapa: Menu *Analyst* e ferramenta *Extract Clip* (cortar), para selecionar apenas as feições de interesse para o estudo, ou seja, os limites da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais.



**FIGURA 3.** Etapas realizadas para geração dos mapas do Balanço Hídrico, a partir das variáveis dos postos pluviométricos da SUDENE (1990).

O BH corresponde à dinâmica das relações da atmosfera no sistema solo-planta. No presente a avaliação climática baseou-se nas seguintes variáveis do BH: Precipitação, Evapotranspiração Total Potencial e Real, Índice Efetivo de Umidade (IM), Índice de Aridez e Número de Meses Secos. Segundo Xu e Singh (1998), geralmente, a precipitação constitui-se como principal elemento para os modelos de Balanço Hídrico, cuja mensuração é realizada a partir de dados disponíveis em redes de estações que influenciam de forma importante a confiabilidade dos cálculos do BH. Por sua vez, o Número de Meses Secos possibilita visualizar a concentração de chuvas ao longo do ano.

A Evapotranspiração Potencial (ETP) representa a quantidade de água que é necessária para manter a cobertura vegetal sempre verde em função de uma determinada temperatura; a Evapotranspiração Real (ETR) diz respeito a real quantidade de água que sai do sistema por meio da evapotranspiração e transpirada pelas plantas.

Segundo Thornthwaite e Mather (1955), o Índice Efetivo de Umidade (IM) é utilizado para mensurar o quanto úmido ou seco é o clima de uma determinada área, tomando como base a combinação dos valores de Evapotranspiração Potencial, do Excedente Hídrico e Déficit Hídrico do balanço por meio da Equação 1, segundo Thornthwaite e Mather (1955).

$$IM = [(EXC - DEF) \times 100] / EP \quad [Eq. 1]$$

Onde:

EXC = é o Excedente Hídrico Anual (em mm);

DEF = é o Déficit Hídrico Anual (em mm);

EP = é a Evapotranspiração Potencial Anual (em mm).

Para classificação climática da área drenada pela Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais (SBHRC), foi considerado o nível de umidade proposto pelo IM, como proposto por Thornthwaite e Mather (1955), conforme é representado na TAB. 1.

**TABELA 1**

Classificação climática a partir do Índice Efetivo de Umidade, segundo Thornthwaite e Mather (1955).

Tipos climáticos		Índice Efetivo de Umidade (IM)
Úmidos	Superúmido	> 100
	Úmidos	20 a 100
	Subúmido úmido	0 a 20
Secos	Subúmido seco	0 a -33,3
	Semiárido	-33,3 a -66,6
	Árido	< -66,6

Fonte: Pesquisa direta. Santos e Aquino (2015).

De acordo com o Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas (UNEP, 1991), o Índice de Aridez (IA) é obtido a partir do quociente entre a Precipitação Média Anual e a Evapotranspiração Potencial Anual (P/ETP) e, de acordo com Aquino (2010), é determinante para identificar as áreas suscetíveis à desertificação existentes no planeta Terra.

Para realizar a classificação quanto ao Índice de Aridez (IA), que diz respeito ao grau de aridez de uma determinada área, considerando os valores obtidos foram delimitadas cinco classes, observando-se os respectivos intervalos de IA (TAB. 2).

**TABELA 2**

Intervalos do Índice de Aridez (IA) com respectivas classes correspondentes a cada intervalo.

Intervalos do IA	Classe atribuída
IA < 0,58	Muito Baixa
0,58 < IA < 0,68	Baixa
0,68 < IA < 0,78	Moderada
0,78 < IA < 0,88	Alta
IA > 0,88	Muito Alta

Fonte: Pesquisa direta. Santos e Aquino (2015).

A utilização de ambientes computacionais de SIG constitui-se ferramenta de grande valia para a integração de dados e diferentes formas de sua análise espacial, para fins de compreensão de determinados fenômenos e projeção de cenários futuros. Diante de tal possibilidade, da escassez de recursos e da extensão do território brasileiro, as

geotecnologias constituem-se uma alternativa para realização de pesquisas que, em última instância, irão auxiliar o planejamento territorial com vistas à minimização dos impactos ambientais (FLORENZANO, 2005). Procedimentos de geoprocessamento foram utilizados para delimitar a área drenada pela SBHRC e para elaboração de mapas temáticos dos diferentes parâmetros do Balanço Hídrico (BH) da referida Sub-Bacia.

### 2.3. Localização da área em estudo

O rio do Cais faz parte da Bacia Hidrográfica do rio Poti, constituindo-se pela confluência dos riachos Esquisito, Seco e Nova Olinda. A SBHRC possui aproximadamente 3.358,2 km<sup>2</sup> e situa-se na Macrorregião do Meio-Norte e Território do Desenvolvimento dos Carnaubais (PIAUÍ, 2006), cuja área drenada abrange o território de quatro municípios: Castelo do Piauí, Buriti dos Montes, São João da Serra e São Miguel do Tapuio. A SBHRC situa-se entre as Coordenadas Geográficas de 04°49' e 6°11'S e 41°09' e 41°54'O (FIG. 4).

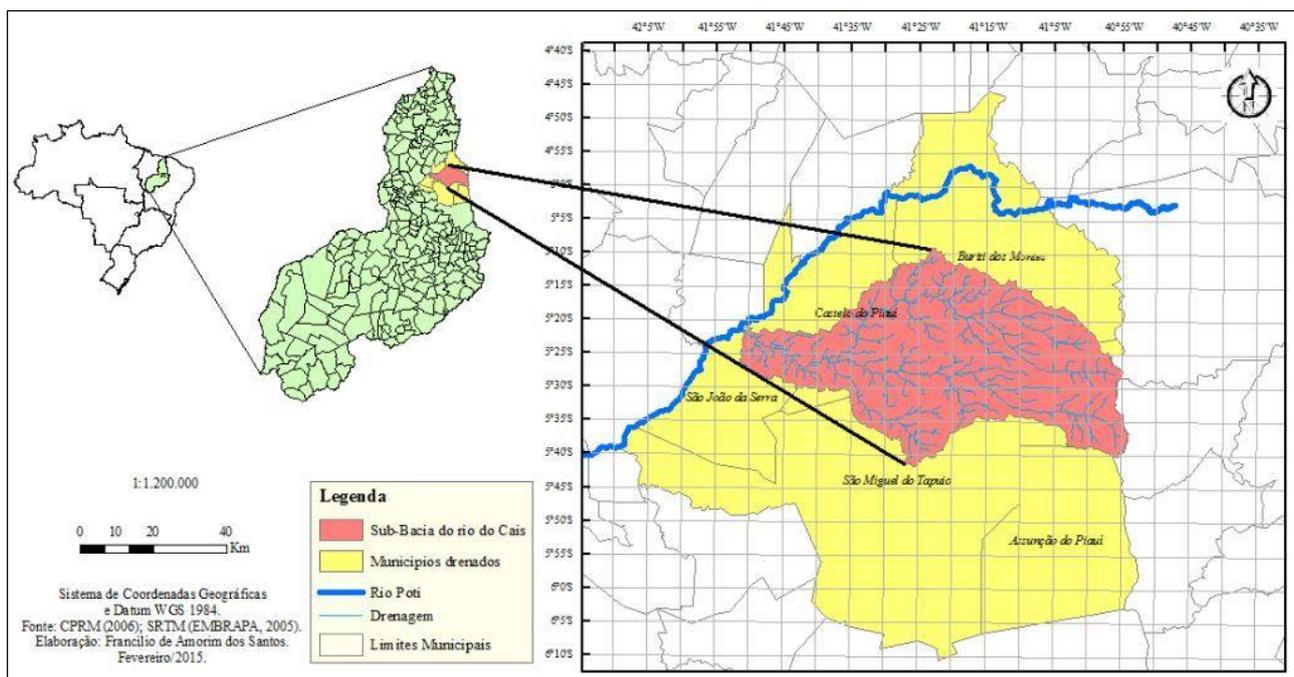
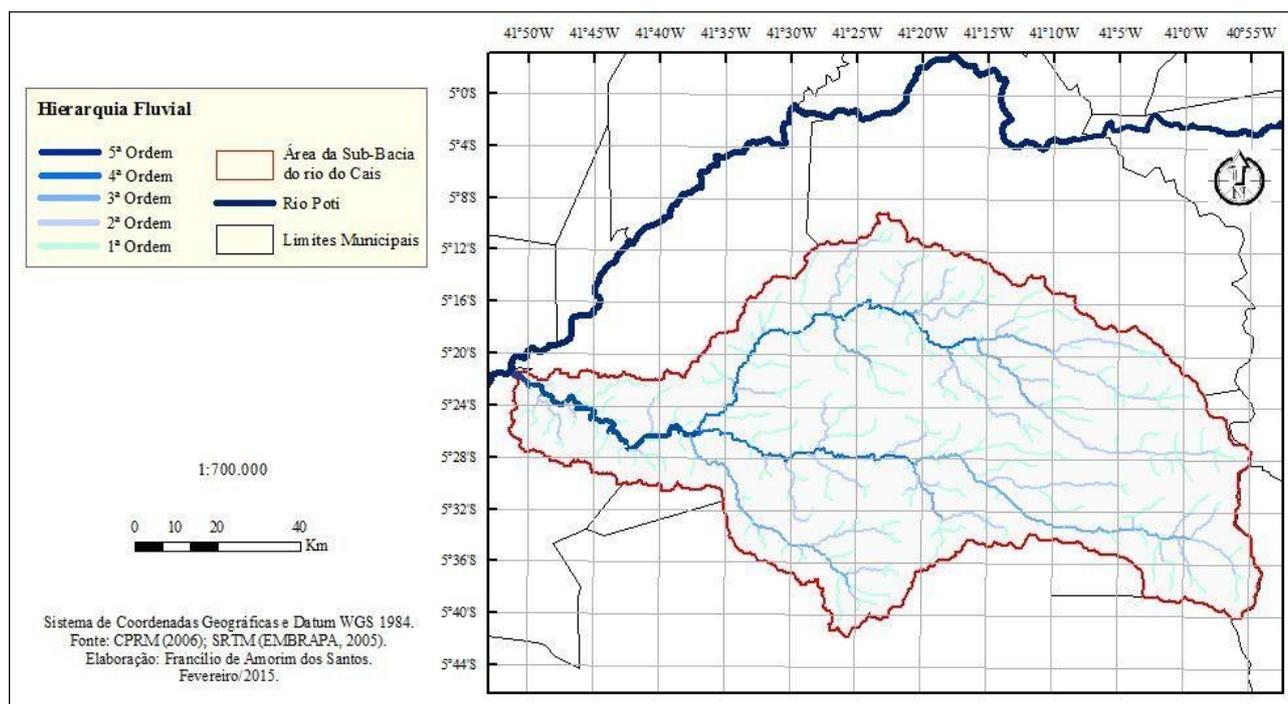


FIGURA 4. Localização da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais. Fonte:EMBRAPA (2005); CPRM (2006).

### 3. Resultados e discussão

As instruções descritas na FIG. 1 permitiram delimitar a área da SBHRC, que possui uma de aproximadamente 3.358,2 km<sup>2</sup>, ao passo que também é possível afirmar que a referida sub-bacia é delimitada por, pelo menos, 5 outras Sub-Bacias. A referida Sub-Bacia

apresenta rios cuja drenagem é classificada como possuindo padrão dendrítico, de acordo com Christofolletti (1980). Segundo a hierarquia fluvial de Strahler (1952), o sistema de drenagem da SBHRC é classificado como de quinta ordem (FIG. 5).



**FIGURA 5.** Hierarquia Fluvial da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais, segundo Strahler (1952). Fonte: EMBRAPA (2005); CPRM (2006).

De acordo com a TAB. 3, é possível inferir que a SBHRC possui duzentos e sessenta e dois canais pertencentes à sua rede de drenagem, possuindo em sua hierarquia fluvial: duzentos e dez canais de primeira ordem, que totalizam 605,49 km e correspondem a 80,15% da SBHRC; quarenta e dois de segunda ordem, que somam 307,72 km e representam 16,03% da Sub-Bacia; sete canais de terceira ordem, que juntos somam 19,26 km e abrangem 2,67% da área em estudo; dois canais de quarta ordem, que totalizam 134,80 km e representam 0,77% da SBHRC; e um segmento de quinta ordem, que corresponde ao rio principal, possuindo 41,20 km e representa 0,38%. Desse modo, pode-se afirmar que na SBHRC são necessários duzentos e dez canais de primeira ordem para gerar quarenta e dois canais de segunda ordem, quarenta e dois canais para originar sete canais de terceira ordem, sete para gerar dois canais de terceira ordem e duzentos e sessenta e dois canais para constituir o rio principal, de quinta ordem. Nesse contexto, pode-se afirmar que a densidade de drenagem da SBHRC é igual a 0,35 km/km<sup>2</sup> e a densidade de rios 0,1 canais/km<sup>2</sup>.

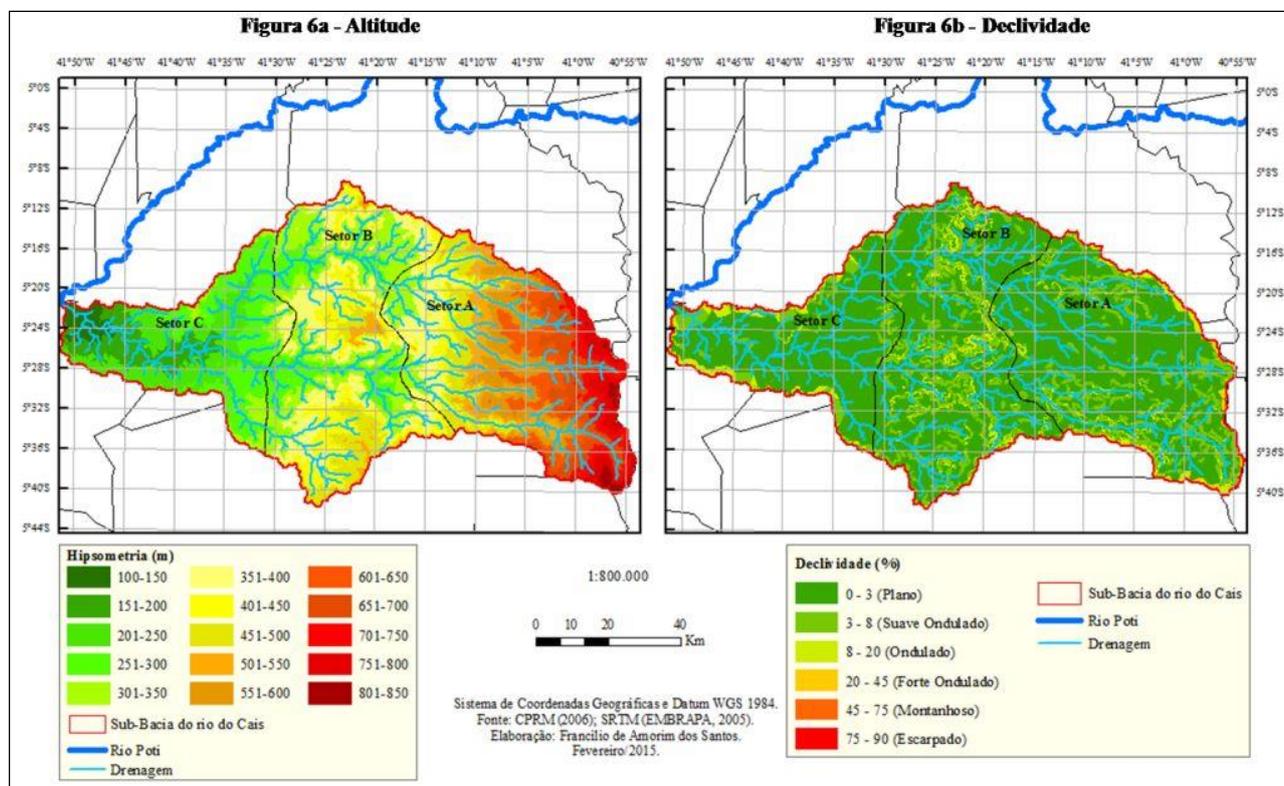
**TABELA 3**

Composição da rede de drenagem da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais.

Ordem dos canais	Nº de segmentos	Comprimento dos Canais (km)	Comprimento Médio dos Canais (km)	% Segmentos
1 <sup>a</sup>	210	605,49	2,88	80,15
2 <sup>a</sup>	42	307,72	7,33	16,03
3 <sup>a</sup>	7	134,80	19,26	2,67
4 <sup>a</sup>	2	102,42	51,21	0,77
5 <sup>a</sup>	1	41,20	41,20	0,38
Total	262	1.191,63	-	100

Fonte: Pesquisa direta. Santos e Aquino (2015).

A SBHRC apresenta altitude mínima de 100 m e altitude máxima de 850 m, conforme FIG. 6a, mais precisamente o setor A é o que apresenta as mais elevadas cotas altimétricas. No que se refere à declividade, o relevo da SBHRC varia de plano a escarpado, entretanto, na maior parte da área há predomínio de relevo plano a suave ondulado, como mostra a FIG. 6b.



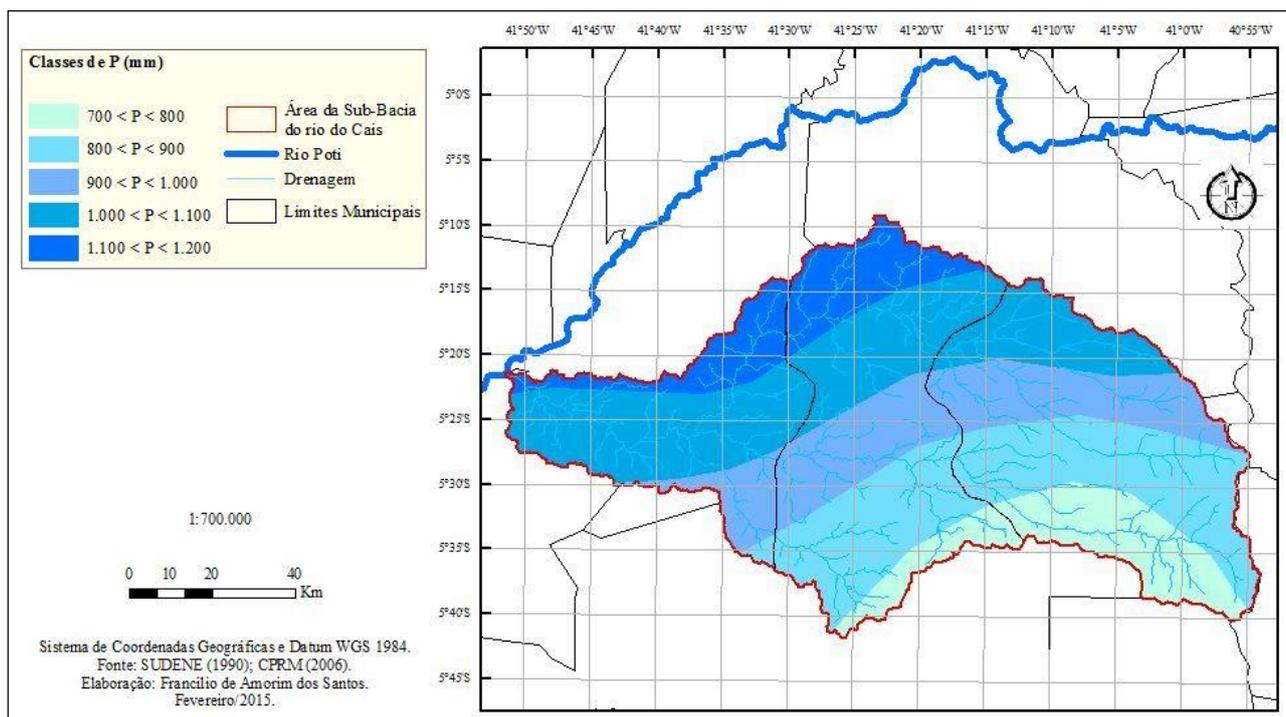
**FIGURA 6.** Classes de Altitude e Declividade da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais. Fonte: EMBRAPA (2005); CPRM (2006).

A SBHRC foi dividida em três setores (Alto, Médio e Baixo Curso) de acordo com as cotas altimétricas e níveis de declividade. Desse modo, tem-se as seguintes características para cada setor:

- O setor A corresponde ao alto curso da Sub-Bacia e possui cotas altimétricas que variam de 250 m a 850 m. As elevadas altitudes devem-se ao fato da maior parte desse setor pertencer à Formação Serra Grande e uma menor parte à Formação Pimenteiras, segundo CRPM (2006). No referido setor encontram-se os riachos que formam o rio do Cais, são eles: riacho Seco, riacho Esquisito, riacho Nova Olinda, riacho Carnaúba Torta e riacho Tamboril. Esse setor possui 1.315,3 km<sup>2</sup>, o que representa 39,2% da área da SBHRC, constituindo-se a maior área em relação aos demais setores. Há predomínio nesse setor de relevo Plano a Forte Ondulado e presença, segundo Jacomine (1983), de Latossolos Amarelos, que apresentam potencialidades agrícolas, Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos, que possuem fragilidade natural alta;
- O setor B corresponde ao médio curso e possui a segunda maior área da SBHRC com 1.267,5 km<sup>2</sup>, correspondendo a 37,7%. Predominam nesse setor cotas altimétricas que variam de 200 m a 600 m, as maiores cotas devem-se, em menor extensão, às Formações Serra Grande e Pimenteiras e as menores cotas deve-se à Formação Cabeças, de acordo com CPRM (2006). Nesse setor flui um trecho do rio do Cais, além dos riachos Carnaúba Torta e Corcunda. A confluência desses últimos origina o rio São Miguel. Em seu relevo destaca-se a presença colinas e classes de declividade que variam de Plana a Ondulada. Nesse setor ocorrem as seguintes associações de solos, segundo Jacomine (1983): Neossolos Litólicos, Latossolos Amarelos, Argissolos Vermelhos-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos;
- O setor C diz respeito ao baixo curso e apresenta 775,4 km<sup>2</sup>, portanto, a menor área dos três setores, em torno 23,1% da Sub-Bacia. Esse setor apresenta as menores cotas altimétricas que variam de 100 m a 450 m, o que se deve principalmente aos Depósitos Colúvio-Eluviais, além da Formação Cabeças. Nesse setor ocorre a confluência dos rios do Cais e São Miguel. Trata-se de uma área com predomínio de relevo plano a ondulado, onde a associação de solos mais expressiva, de acordo com Jacomine (1983), são os Latossolos Amarelos, favorecidos pelos Depósitos Colúvio-Eluviais, seguidos pelos Neossolos Quartzarênicos, Argissolos Vermelhos-Amarelos e Neossolos Litólicos.

### 3.1. Precipitação (P)

Os totais de precipitações pluviométricas da área drenada pela SBHRC são baixas e quando ocorrem são concentradas em curto período de tempo. Os dados dos postos pluviométricos da SUDENE (1990) permitiram elaborar o mapa da distribuição espacial das precipitações da referida Sub-Bacia (FIG. 7). Desse modo, é possível afirmar que o efeito orográfico não é observado na área estudada, pois áreas de altitudes mais elevadas apresentam os menores totais anuais de precipitação.



**FIGURA 7.** Precipitação Total Média Anual da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais, série histórica de 1963 a 1985. Fonte: SUDENE (1990); CPRM (2006).

Por meio da TAB. 4, pode-se inferir que nos três setores da SBHRC predominam totais de precipitações situadas entre 1.000 a 1.100 mm anuais, ou seja, os setores A, B e C apresentam respectivamente, 32,3%, 33% e 34,5% de suas áreas com o citado total. Os referidos totais aliadas à ocorrência de solos pouco desenvolvidos, especificamente Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos, conforme Jacomine (1983), podem resultar em alto potencial de erosividade.

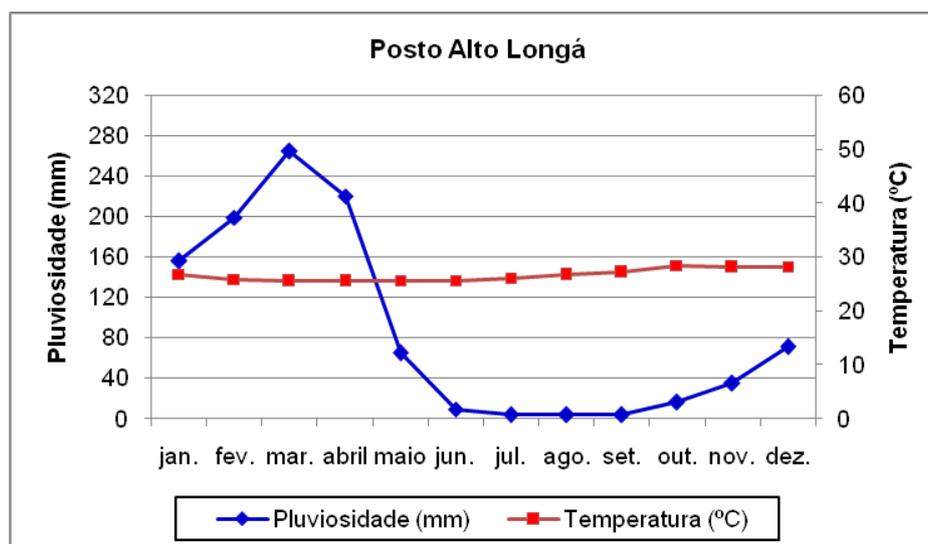
**TABELA 4**

Intervalos com a distribuição dos valores relativos e absolutos de Precipitação Total Média Anual, nos setores da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais.

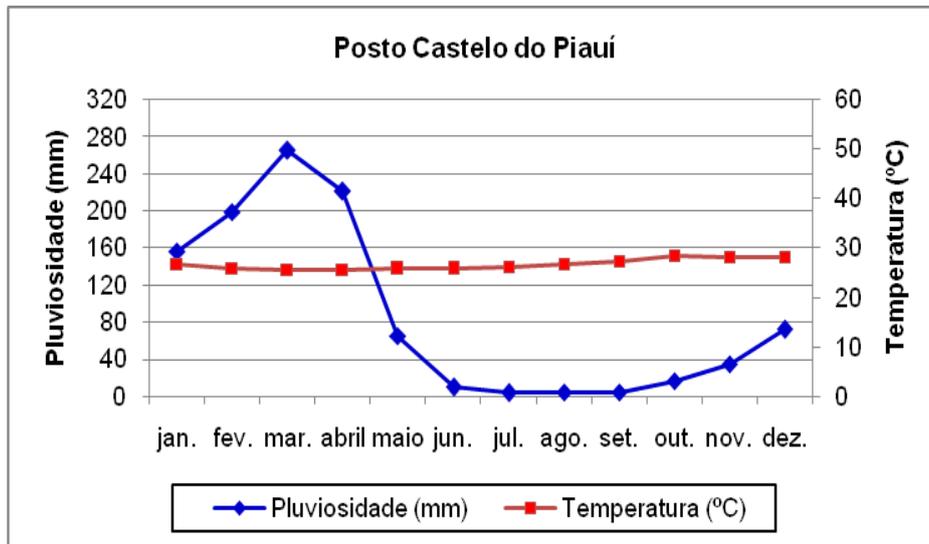
Intervalos de P (mm)	Setor A		Setor B		Setor C	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
700 a 800	168,3	12,8	110,3	8,7	-	-
800 a 900	349,9	26,6	344,7	27,2	220,2	28,4
900 a 1.000	285,4	21,7	281,4	22,2	179,1	23,1
1.000 a 1.100	424,9	32,3	418,3	33	267,5	34,5
1.100 a 1.200	86,8	6,6	112,8	8,9	108,6	14
Total	1.315,3	100	1.267,5	100	775,4	100

Fonte: Pesquisa direta. Santos e Aquino (2015).

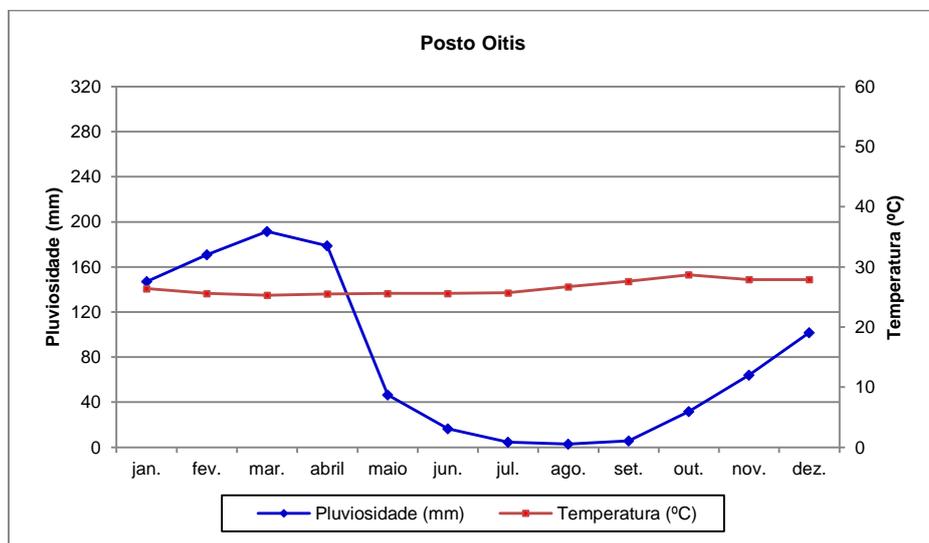
Para Ferreira e Mello (2005), as temperaturas médias anuais nordestinas são elevadas e apresentam amplitude térmica em torno de 6° C. Os gráficos ombrotérmicos (FIG. 8 a 15) representam o padrão médio das chuvas e das temperaturas obtidas a partir dos postos pluviométricos. Os gráficos permitem afirmar que as chuvas na série histórica analisada concentram-se em curto período de tempo, ou seja, de janeiro a maio, os meses menos chuvosos concentram-se de junho a setembro. Os postos pluviométricos apresentam poucas oscilações de temperatura e estão bem distribuídas ao longo do ano (FERREIRA e MELLO, 2005).



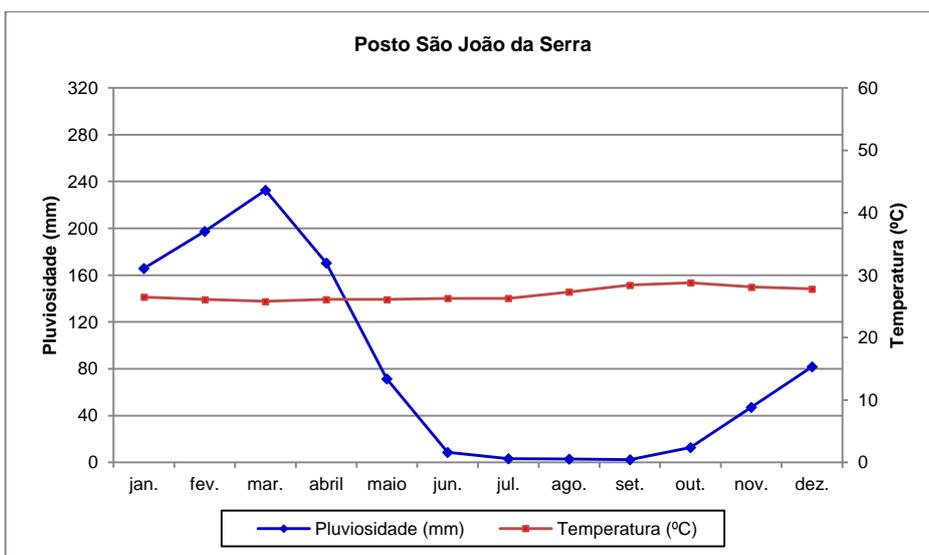
**FIGURA 8.** Gráfico ombrotérmico do posto pluviométrico Alto Longá, 1963 a 1985. Fonte: SUDENE (1990).



**FIGURA 9.** Gráfico ombrotérmico do posto pluviométrico Castelo do Piauí, 1963 a 1985. Fonte: SUDENE (1990).



**Figura 10.** Gráfico ombrotérmico do posto pluviométrico Oitis, 1963 a 1985. Fonte: SUDENE (1990).



**FIGURA 11.** Gráfico ombrotérmico do posto pluviométrico São João da Serra, 1963 a 1985. Fonte: SUDENE (1990).

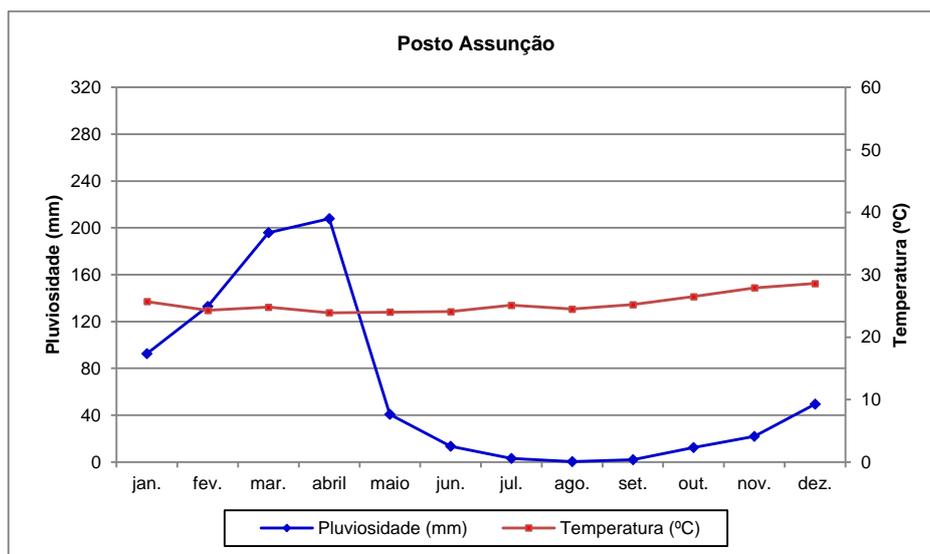


FIGURA 12. Gráfico ombrotérmico do posto pluviométrico Assunção, 1963 a 1985. Fonte: SUDENE (1990).

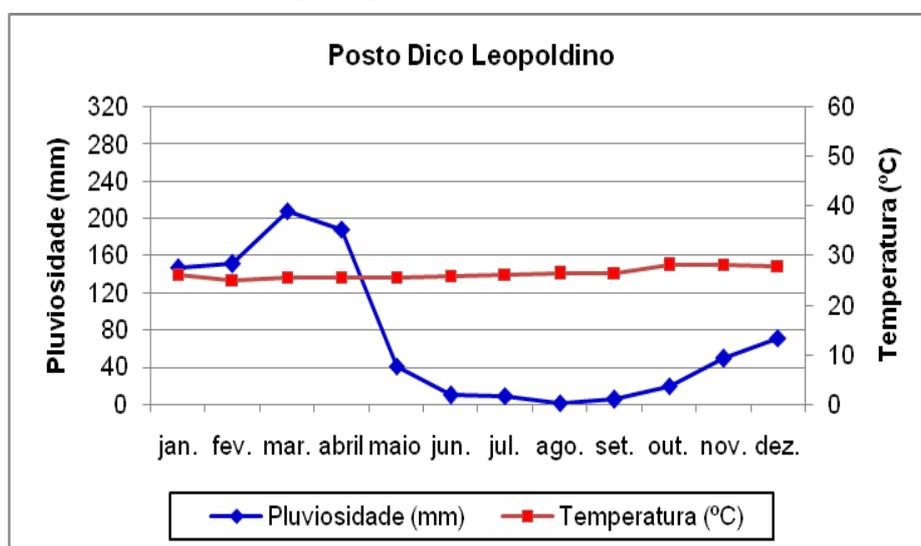


FIGURA 13. Gráfico ombrotérmico do posto pluviométrico Dico Leopoldino, 1963 a 1985. Fonte: SUDENE (1990).

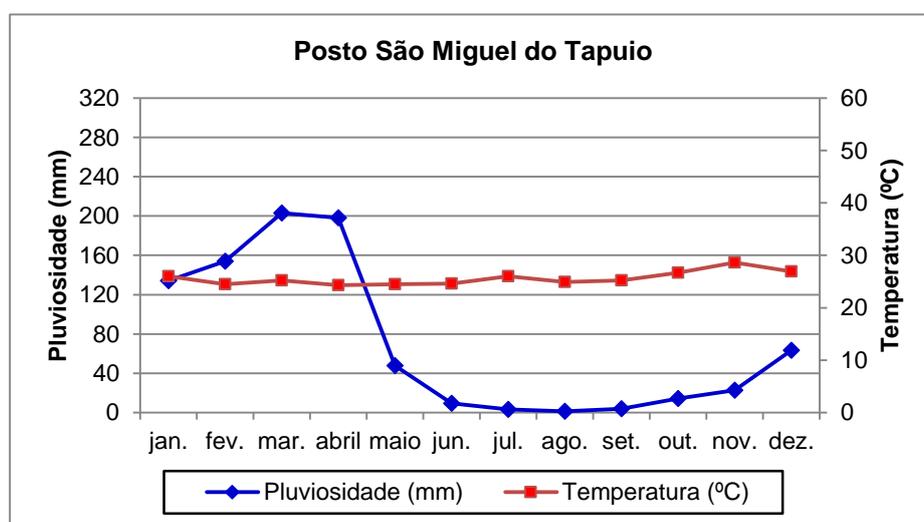
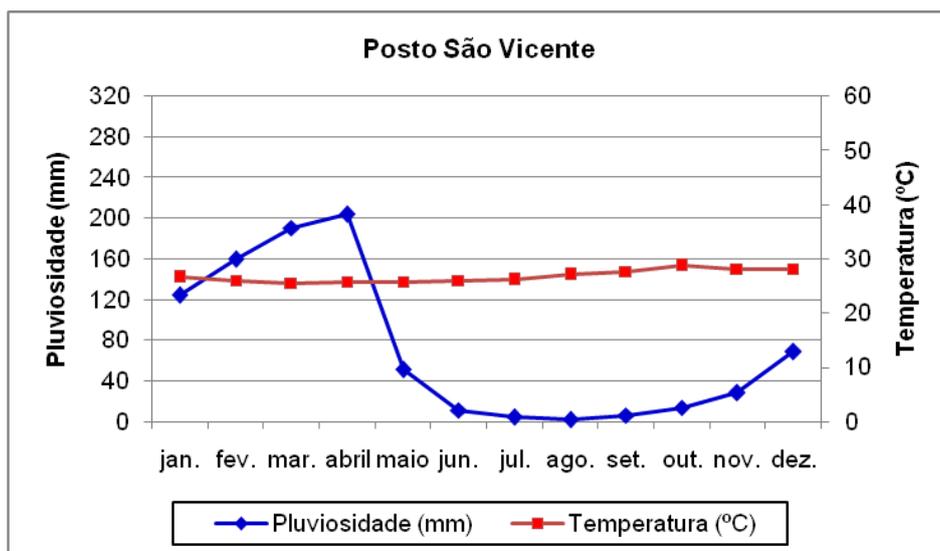


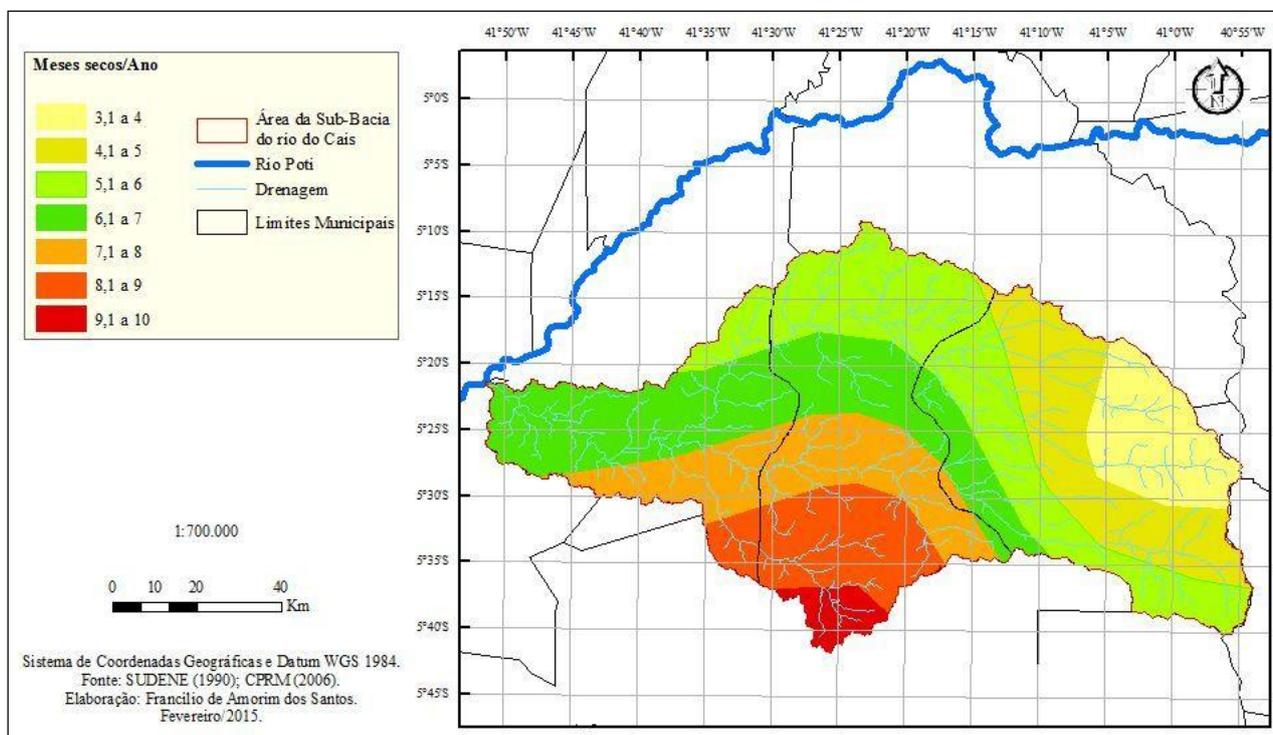
FIGURA 14. Gráfico ombrotérmico do posto pluviométrico São Miguel do Tapuio, 1963 a 1985. Fonte: SUDENE (1990).



**FIGURA 15.** Gráfico ombrotérmico do posto pluviométrico São Vicente, 1963 a 1985. Fonte: SUDENE (1990).

### 3.2. Meses Secos (MS)

O número de meses secos (MS) diz respeito, principalmente, à concentração de chuvas em curto período de tempo. Os dados extraídos dos postos pluviométricos permitem afirmar que há variação de três a dez meses secos na SBHRC (FIG. 16).



**FIGURA 16.** Número de Meses Secos da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais. Fonte: SUDENE (1990); CPRM (2006).

Através da TAB. 5 é possível afirmar que 59,4% da área do setor A da SBHRC possui cinco a sete meses secos, o setor B com 60,4% de sua área com cinco a sete meses secos e o setor C possui 65,9%, com cinco a sete meses secos. Destaque-se que os três setores possuem em média 18% de suas áreas com nove a dez meses secos, isto é, concentração de chuvas num curto período de tempo, o que pode gerar alto potencial de erosividade ou mesmo limitar as atividades humanas.

**TABELA 5**

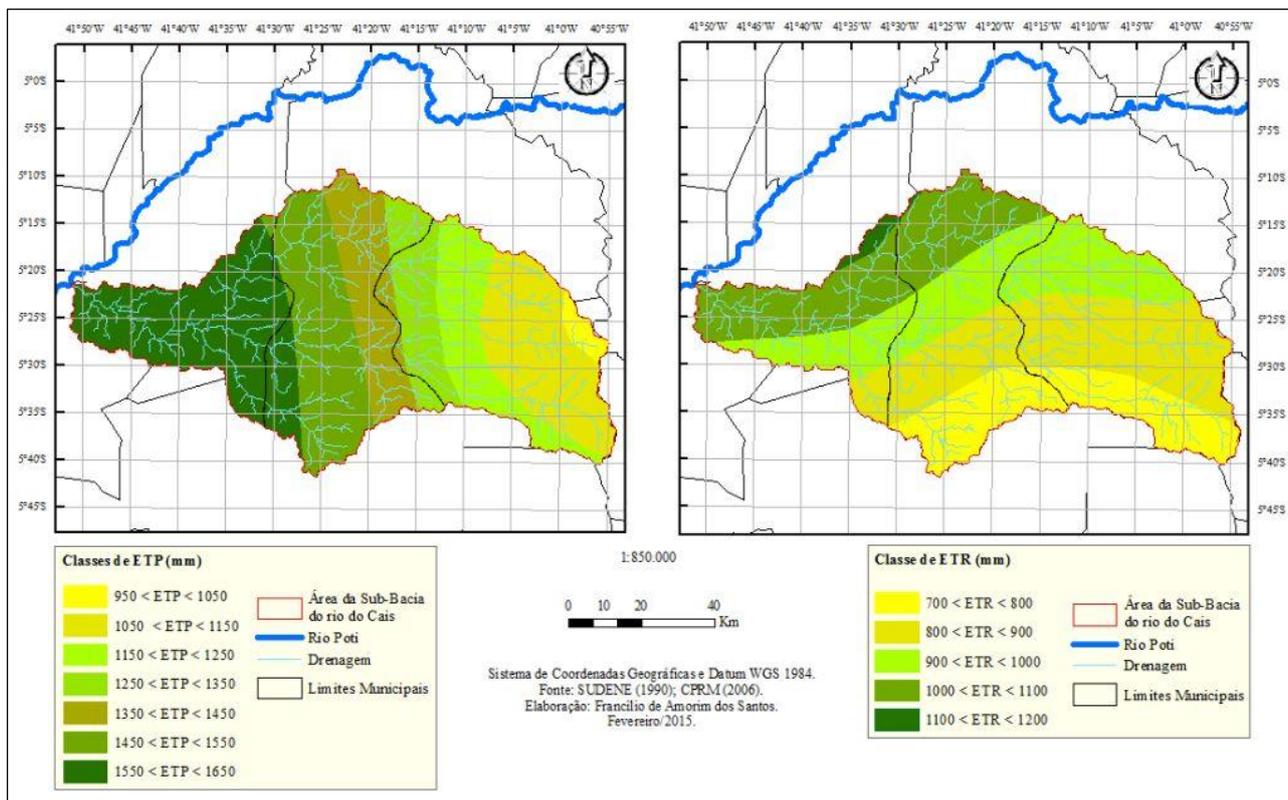
Intervalos com a distribuição dos valores relativos e absolutos do Número de Meses Secos, nos setores da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais.

Intervalos de MS	Setor A		Setor B		Setor C	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
3,1 a 4	75	5,7	-	-	-	-
4,1 a 5	231,5	17,6	150,8	11,9	-	-
5,1 a 6	386,7	29,4	379	29,9	252,8	32,6
6,1 a 7	394,6	30	386,6	30,5	258,2	33,3
7,1 a 8	-	-	12,7	1	-	-
8,1 a 9	-	-	115,3	9,1	115,5	14,9
9,1 a 10	227,5	17,3	223,1	17,6	148,9	19,2
Total	1.315,3	100	1.267,5	100	775,4	100

Fonte: Pesquisa direta. Santos e Aquino (2015).

### 3.3. Evapotranspiração Total Potencial (ETP) e Evapotranspiração Total Real (ETR)

A Evapotranspiração Potencial (ETP) e a Evapotranspiração Real (ETR) são importantes parâmetros para avaliar a quantidade de água que sai do sistema. O primeiro corresponde à demanda de água para manter a cobertura vegetal sempre verde quando relacionada à temperatura, a segunda é a real quantidade de água que sai do sistema por meio da evapotranspiração. Desse modo, os dados dos postos pluviométricos permitem afirmar que os valores de ETP e ETR da SBHRC variam, respectivamente, de 950 a 1.650 mm e 700 a 1.200 mm (FIG. 17).



**FIGURA 17.** Evapotranspiração Total Potencial e Real da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais. Fonte: SUDENE (1990); CPRM (2006).

A TAB. 6 permite afirmar que 75,2% da área do setor A da SBHRC apresenta Evapotranspiração Potencial (ETP) situada entre 1.350 mm a 1.650 mm e o setor B apresenta 67% de sua área com ETP entre o intervalo de 1.150 mm a 1.350 mm, enquanto o setor C apresenta 100% de suas taxas de ETP situadas entre 1.150 mm a 1.350 mm. Pode-se afirmar que o setor A é o que apresenta maiores taxas de perda de água por meio da evapotranspiração.

**TABELA 6**

Intervalos com a distribuição dos valores relativos e absolutos de Evapotranspiração Potencial Total Anual, nos setores da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais.

Intervalos de ETP (mm)	Setor A		Setor B		Setor C	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
950 < ETP < 1.050	28,9	2,2	-	-	-	-
1.050 < ETP < 1.150	297,3	22,6	-	-	-	-
1.150 < ETP < 1.250	-	-	495,6	39,1	452,1	58,3
1.250 < ETP < 1.350	-	-	353,6	27,9	323,3	41,7
1.350 < ETP < 1.450	440,6	33,5	234,5	18,5	-	-
1.450 < ETP < 1.550	344,6	26,2	183,8	14,5	-	-
1.550 < ETP < 1.650	203,9	15,5	-	-	-	-
Total Geral	1.315,3	100	1.267,5	100	775,4	100

Fonte: Pesquisa direta. Santos e Aquino (2015).

Através da TAB. 7 pode-se afirmar que o setor A da SBHRC apresenta 40,1% de sua área com valores de ETR situados entre 800 mm a 900 mm, ao passo que os setores B e C possuem, respectivamente, 32,8% e 30,1% de suas áreas com 800 mm a 900 mm. Destaca-se que 18,1% e 24,9% dos setores B e C apresentam taxas de ETR entre o intervalo de 1.000 mm a 1.200 mm.

**TABELA 7**

Intervalos com a distribuição dos valores relativos e absolutos de Evapotranspiração Real Total Anual, nos setores da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais.

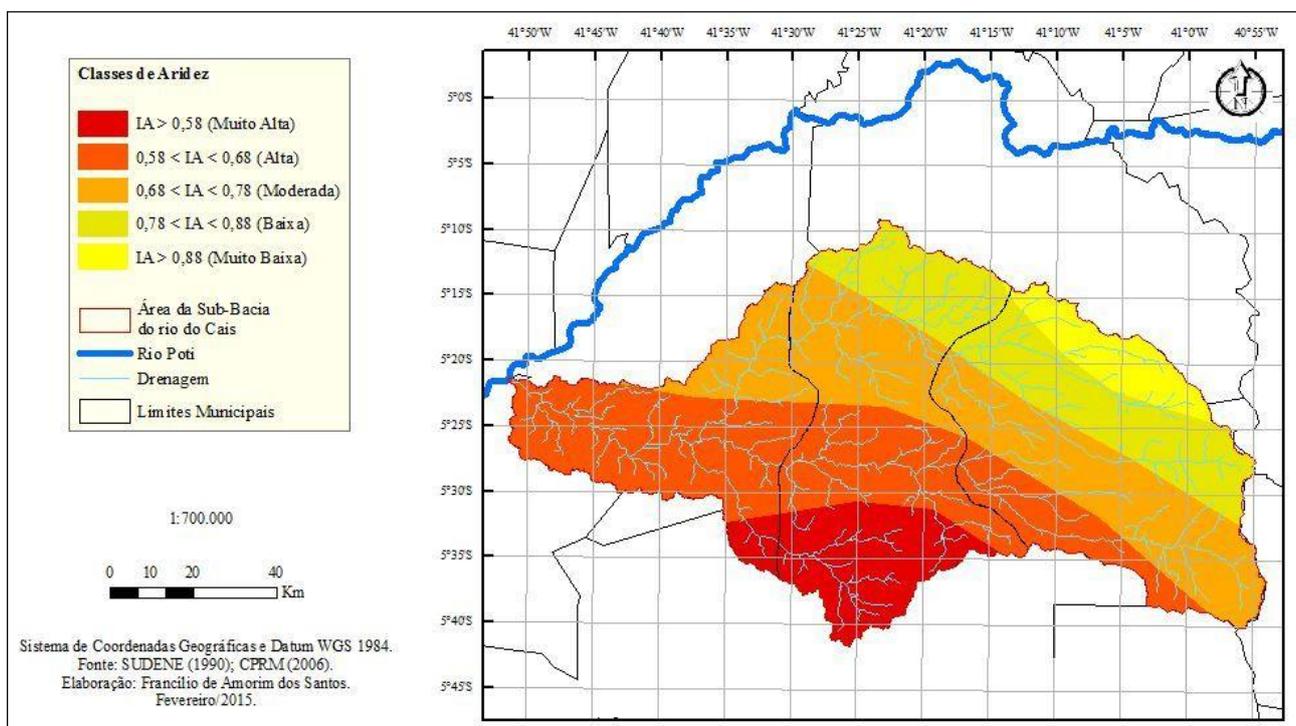
Intervalos de ETR (mm)	Setor A		Setor B		Setor C	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
700 < ETR < 800	322,5	24,5	254,8	20,1	142,7	18,4
800 < ETR < 900	527,4	40,1	415,7	32,8	233,4	30,1
900 < ETR < 1.000	465	35,4	367,6	29	206,2	26,6
1.000 < ETR < 1.100	-	-	218	17,2	183	23,6
1.100 < ETR < 1.200	-	-	11,4	0,9	10,1	1,3
Total	1.315,3	100	1.267,5	100	775,4	100

Fonte: Pesquisa direta. Santos e Aquino (2015).

Em observação às Tabelas 6 e 7, pode-se afirmar que na área em estudo há altas taxas de evapotranspiração, seja potencial ou real. Nesse contexto, percebe-se que há escassa disponibilidade de água para o consumo humano e prática das atividades agropecuárias, principalmente no setor A.

### 3.4. Índice de Aridez (IA)

O Índice de Aridez (IA) corresponde ao quociente entre a Precipitação Média Anual e a Evapotranspiração Potencial Anual. Desse modo, pode-se afirmar que a Sub-Bacia apresenta valores de IA que variam de muito alto a muito baixo nível de aridez (FIG. 18).



**FIGURA 18.** Índice de Aridez da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais. Fonte: SUDENE (1990); CPRM (2006).

Por meio da TAB. 8, pode-se afirmar que 27,7% da área do setor A apresenta área com alto a muito alto nível de aridez. Os setores B e C apresentam, respectivamente, 38,4% e 44,6% de suas áreas classificadas como de alto a muito alto nível de aridez. O nível de aridez pode ser um limitador natural ao desenvolvimento das atividades humanas. Os dados do IA permitem afirmar que grande parte da área em estudo apresenta vulnerabilidade climática natural a desertificação considerando o índice de aridez o que irá refletir baixa disponibilidade de água para consumo humano e desenvolvimento de suas atividades de subsistência.

**TABELA 8**

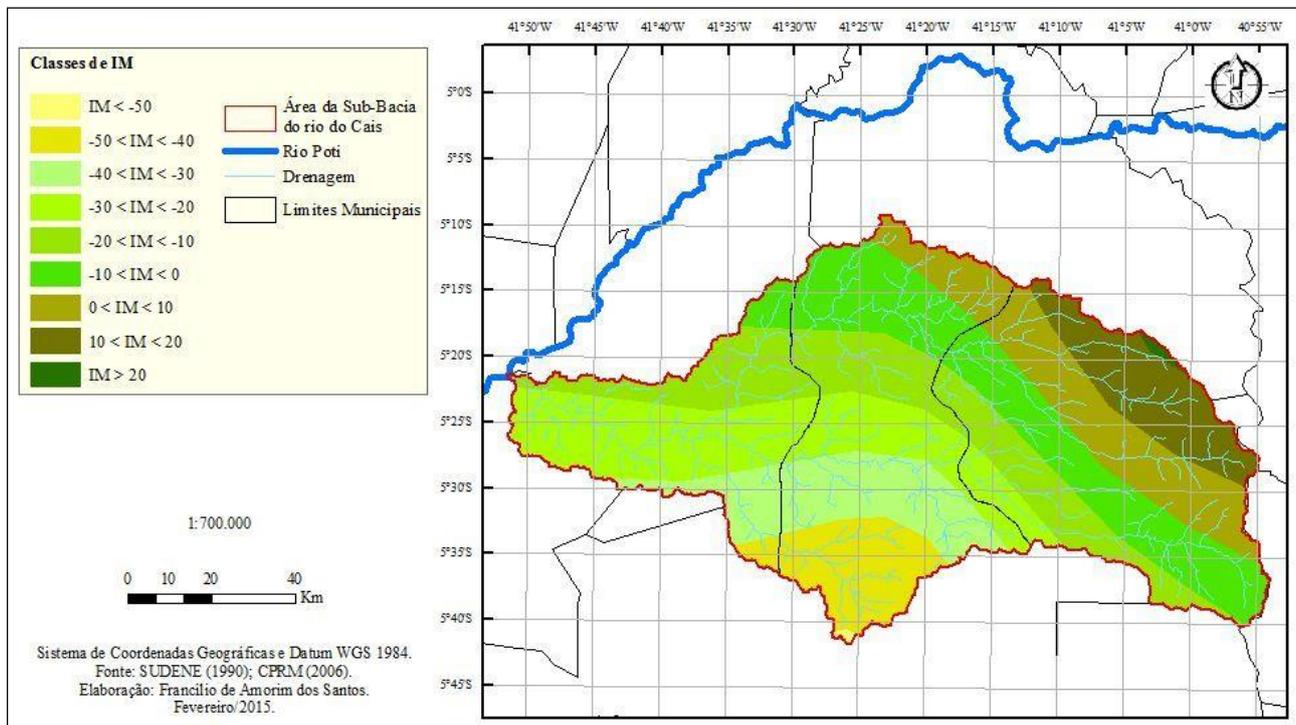
Distribuição das classes com valores relativos e absolutos do Índice de Aridez, nos setores da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais.

Intervalos do IA	Classe atribuída	Setor A		Setor B		Setor C	
		km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
IA < 0,58	Muito Baixa	-	-	115,4	9,1	123,3	15,9
0,58 < IA < 0,68	Baixa	505,1	38,4	486,7	38,4	345,8	44,6
0,68 < IA < 0,78	Moderada	445,9	33,9	43,9	34	306,3	39,5
0,78 < IA < 0,88	Alta	281,5	21,4	181,3	14,3	-	-
IA > 0,88	Muito Alta	82,8	6,3	53,2	4,2	-	-
Total Geral	-	1.315,3	100	1.267,5	100	775,4	100

Fonte: Pesquisa direta. Santos e Aquino (2015).

### 3.1.5. Índice Efetivo de Umidade (IM)

Através da combinação dos valores de Evapotranspiração Potencial, do Excedente Hídrico e Déficit Hídrico pode-se chegar ao Índice Efetivo de Umidade (IM), que pode ser utilizado para estimar o nível de umidade de determinada área. Portanto, utilizando os dados obtidos dos treze postos pluviométricos foi possível elaborar o mapa do Índice Efetivo de Umidade (FIG. 19).



**FIGURA 19.** Índice Efetivo de Umidade da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais. Fonte: SUDENE (1990); CPRM (2006).

Por meio da TAB. 9, é possível afirmar que o setor A da SBHRC possui 76,2% de sua área com fragilidade natural, devido ao seu clima do tipo subúmido seco. O setor B possui, respectivamente, 72,3 e 16,3% de sua área classificada como sendo de clima subúmido seco e semiárido. Por sua vez, o setor C apresenta 74,7% e 25,3%, respectivamente, com clima subúmido seco e semiárido. Desse modo, pode-se afirmar que há grande porcentagem da Sub-Bacia com fragilidade climática natural, influenciada pela presença dos climas subúmido seco e semiárido. Logo, devem ser observadas as peculiaridades dos tipos climáticos, pois predisõem o ambiente local aos processos de degradação, o que pode ser acelerado caso não haja manejo adequado, no que diz respeito às práticas antrópicas, podendo culminar em especial processos de desertificação.

**TABELA 9**

Intervalos com a distribuição dos valores relativos e absolutos do Índice Efetivo de Umidade, com respectivos tipos climáticos, nos setores da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais.

Intervalos do IM	Tipos climáticos	Setor A		Setor B		Setor C	
		km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
IM < -50	Semiárido	-	-	1,3	0,1	-	-
-50 < IM < -40		-	-	84,4	6,7	814,4	10,5
-40 < IM < -30		-	-	120,5	9,5	114,8	14,8
-30 < IM < -20	Subúmido seco	347,2	26,4	318,1	25,1	200,8	25,9
-20 < IM < -10		314,4	23,9	287,7	22,7	181,4	23,4
-10 < IM < 0		339,3	25,9	310,5	24,5	197	25,4
0 < IM < 10	Subúmido úmido	236,8	18	144,5	11,4	-	-
10 < IM < 20		75	5,7	-	-	-	-
IM > 20	Úmido	2,6	0,2	-	-	-	-
Total Geral	-	1.315,3	100	1.267,5	100	775,4	100

Fonte: Pesquisa direta. Santos e Aquino (2015).

#### 4. Conclusões

A extração automática de bacias hidrográficas, por meio do SIG *ArcGIS 10*, utilizada para delimitar a Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais (SBHRC) foi satisfatória, pois permitiu identificar a área drenada e os principais cursos hídricos da referida Sub-Bacia, bem como realizar a hierarquia fluvial e sua setorização. Desse modo, possibilitando orientar a governança para o desenvolvimento das atividades antrópicas.

As variáveis do Balanço Hídrico permitiram afirmar que os três setores da Sub-Bacia Hidrográfica do rio do Cais (SBHRC) possuem totais de precipitações entre 1.000

mm a 1.100 mm anuais, que aliadas a solos pouco desenvolvidos e chuvas concentradas em quatro a cinco meses acentuam o potencial erosivo das chuvas.

Os setores da SBHRC apresentam fragilidade climática natural, em face da tipologia climática subúmida seca e semiárida, com média de 8 a 10 meses secos, índice de aridez característico de regiões suscetíveis à desertificação e elevados valores de Evapotranspiração Potencial e Evapotranspiração Real, o que implica em escassez de água disponível para o crescimento da cobertura vegetal e o desenvolvimento das atividades antrópicas.

Considerando a importância dos recursos hídricos, é fundamental a proteção e o uso racional dos três setores da SBHRC identificados nesta pesquisa, contudo, os dados relativos a análise climática indicam o setor B (médio curso) como o de maior fragilidade climática, exigindo, portanto, mais atenção no que se refere às formas de uso das terras, com vista a manutenção desse recurso imprescindível à vida das gerações futuras

Em suma, o conhecimento das variáveis, principalmente a precipitação e evapotranspiração, possibilitam desenvolver atividades agropecuárias adequadas aos padrões climáticos. Estudos complementares sobre os aspectos geoambientais sobre a Sub-Bacia em estudo devem ser realizados para melhor conhecer a área, permitir a elaboração do planejamento ambiental e identificar as potencialidades e fragilidades ambientais da área em estudo.

## Referências

ALVES SOBRINHO, T. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, jan./fev. 2010.

AQUINO, C.M.S. **Estudo da degradação / desertificação no núcleo de São Raimundo Nonato - Piauí**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Sergipe - UFSE. São Cristóvão, 2010.

AQUINO, C.M.S.; OLIVEIRA, J.G.B. Estudos sobre desertificação no Piauí. **Sapiência**. Teresina-PI, jan/fev/mar, n<sup>o</sup> 30, ano VIII, 2012.

BELTRAME, A.V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1<sup>o</sup> da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dez.de1989.

CHRISTOFOLETTI, A. A aplicação da abordagem em sistemas na geografia física. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, 52 (2): 21-35, abr./jun. 1990.

\_\_\_\_\_. **Geomorfologia** -- São Paulo: Editora Blucher, 1980.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Ministério de Minas e Energia. **Mapas estaduais de geodiversidade:** Piauí. Rio de Janeiro: CPRM. 2006. Documento cartográfico em arquivo vetorial. Disponível em <http://geobank.sa.cprm.gov.br>. Acesso em janeiro de 2015.

FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Vol. 1, N° 1, p.15-28. Dezembro de 2005.

FLORENZANO, T.G. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, vol. 17, p.24-29. 2005.

JACOMINE, P.K.T. **Mapa exploratório-reconhecimento de solos do estado do Piauí.** Convênio EMBRAPA/SNLCS-SUDENE-DRN. 1983.

LIMA, W.P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Departamento de Ciências Florestais Piracicaba - São Paulo, Piracicaba, dezembro de 2008.

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. In: **Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia (CD-Rom)**, p.1.334-1.342. Rio de Janeiro, 2000.

NOVO, E.M.L.M. Ambientes Fluviais. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos. 2008. p.219-246.

PIAUI. Gabinete do Governador. Palácio de Karnak. **Projeto de Lei Complementar nº 004, de 14 de fevereiro de 2006.** Estabelece o Planejamento Participativo Territorial para o Desenvolvimento Sustentável do estado do Piauí e dá outras providências.

SILVA, J.R.; MOURA, A.C.M. Delimitação automática de sub-bacias hidrográficas no município de Ouro Preto-MG. In: **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

STRAHLER, A.N. Hypsometric analysis of erosional topography. **Bull. Geol. Soc. Am.**, n. 63, 1952. p.111-1141.

SUDENE. **Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste:** Estado do Piauí. Recife, 1990.

THORNTHWAITE, C.W; MATHER, J.R. **The Water Balance** - Publications in Climatology. New Jersey: Centerton, v. VIII, n° 1, 1955.

TORRES, F.T.P. **Introdução à Climatologia.** – Ubá/MG: ed. Geographia consultoria, estudos e projetos ambientais ltda., 2008. (Série Textos Básicos Geografia).

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia:** ciência e aplicação. Porto Alegre: Eds. da UFRGS e da USP, 1993. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4). 952.p.

UNEP. **Status of desertification and implementation of the United Nations Plan of Action to Combat Desertification.** Nairóbi, 1991.

XU, C.Y.; SINGH, V.P.A Review on Monthly Water Balance Models for Water Resources Investigations. **Water Resources Management**, vol. 12, p.31-50. 1998.

Recebido em 10/10/2015

Aceito em 25/01/2016