



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Iug Lopes

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E USO DO SOLO DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTAL**

JUAZEIRO – BA
2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Iug Lopes

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E USO DO SOLO DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UNIVASF, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, com área de concentração em Engenharia de Água e Solo.

Orientador: Prof. Dsc. Bráulio Gonçalves Leal
Co-orientador: Prof. Dsc. Clovis Manoel
Carvalho Ramos

JUAZEIRO – BA
2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

FOLHA DE APROVAÇÃO

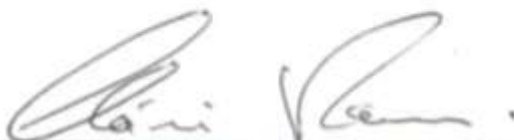
Iug Lopes

**CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA E USO DO SOLO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO PONTAL**


Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.



Brauliro Gonçalves Leal, Prof. D.Sc.
Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF



Clóvis Manoel Carvalho Ramos, Prof. D.Sc.
Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF



Lúcio Alberto Pereira, D.Sc.
Embrapa Semiárido

Juazeiro, 13 de março de 2015

L864c Lopes, Iug
 Caracterização morfométrica e uso do solo da Bacia Hidrográfica Do Rio Pontal /
Iug Lopes. – – Juazeiro-BA, 2016
 59f. : il. ; 29 cm.

 Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale
do São Francisco, Campus Juazeiro, Juazeiro-BA, 2016.

 Orientador: Brauliro Gonçalves Leal

 Referências.

 1. Planejamento de bacia; 2. QGIS; 3. Modelagem; 4. Softwares Livres. I. Título.
II. Leal, Brauliro Gonçalves. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco

CDD 631.47

**Dedico este trabalho aos meus
pais Maristela e João, aos meus
irmãos Breno e Amennemar, a
minha noiva Juliana.**

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço a Deus por todas as graças concedidas. E a Santa Luzia por toda a iluminação do meu conhecimento.

Agradeço aos meus Pais, Maristela da Silva Ferreira Lopes e João Batista Ferreira Lopes, personagens importantíssimos na minha trajetória de vida, que tudo me deram, e a quem devo tudo.

Aos meus irmãos, Breno Lopes e Amennemar Lopes, por todo o carinho e companheirismo.

A minha noiva, Juliana Maria Medrado de Melo, por todo carinho, amor, apoio, compreensão e paciência, que constituiu um verdadeiro ponto de apoio durante momentos difíceis ao longo deste trabalho.

Agradeço a coordenação, professores, funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco, que a cada dia faz com que o Programa de Mestrado se fortaleça e cresça.

Aos meus Orientadores, Prof. Dr. Brauliro Gonçalves Leal e Clovis Manoel Carvalho Ramos. Muito obrigado pelos ensinamentos científicos e de vida, palavras de incentivo, dedicação, paciência e cobranças.

Aos colegas da pesquisa “nata”, ao qual foram realizados vários trabalhos científicos, em especial ao grande amigo Miguel Guimarães.

Aos meus amigos do mestrado, pela amizade, brincadeiras, horas de estudos e dúvidas esclarecidas nas muitas enfrentadas nas disciplinas. Em especial ao pessoal da minha turma: Alzeneide, Camila e Roberta.

Aos meus amigos de infância pela amizade e por todos os momentos de divertimento.

Enfim... A todos que de forma direta e indireta contribuíram para minha formação e realização desta pesquisa.

... Meus sinceros agradecimentos.

LOPES, I. **Caracterização morfométrica e uso do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal**. 2016. 59 f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Juazeiro-BA.

RESUMO

A inserção de informações de relevo e imagens de satélite em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite o conhecimento de características em quaisquer bacias hidrográficas. O objetivo deste estudo foi de avaliar a caracterização morfométrica e uso do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal através de dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e imagens de satélite processados em Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o auxílio dos softwares livres Quantum GIS (QGIS) 2.8 e Terrain Análise Ucantar Digital Elevation Modelos (TauDEM) V.5. A declividade média foi de 4,45% e mais de 92% da área da bacia apresentou declividades menores que 8%. A bacia possui 6046,23 Km², considerada de 6^o ordem, com drenagem de 0,42 Km Km⁻². Apresentou ainda fator de forma de 0,41 m m⁻¹, coeficiente de compacidade de 0,72 e índice de circularidade de 0,32, indicando que a bacia possui formato muito alongado e por conseguinte, baixa tendência a enchentes. Quanto ao uso do solo, durante os últimos 15 anos houve um crescimento considerável na agricultura irrigada e no solo descoberto, fatos estes que podem estar interligados, sendo o desmatamento a primeira fase na implantação de uma irrigação em uma área natural.

Palavras Chave: Planejamento de bacia; QGIS; Modelagem; Softwares Livres.

LOPES, I. Morphometric characterization and land use Basin Pontal River. 2016. 59 f. Dissertation (Masters in agricultural engineering) - Federal University of São Francisco Valley - UNIVASF. Juazeiro-BA.

ABSTRACT

The inclusion of relevant information and satellite images in Geographic Information System (GIS) allows the knowledge of characteristics in any watersheds. The aim of this study was to evaluate the morphometric characterization and land use Hydrographic Pontal River Basin through Shuttle data Radar Topography Mission (SRTM) and satellite images processed in Geographic Information System (GIS), with the help of software free Quantum GIS (QGIS) 2.8 and Digital Terrain Analysis Ucantar Elevation Models (TauDEM) V.5. The average slope was 4.45% and over 92% of the basin area showed lower slopes than 8%. The basin has 6046.23 square kilometers, considered 6th order with drainage 0.42 Km Km⁻². He also presented form factor of 0.41 m m⁻¹, compactness and circularity coefficient of 0.72 index of 0.32, indicating that the basin has very elongated shape and therefore low risk of flooding. As for the land use, Durantes the last 15 years there has been considerable growth in irrigated agriculture and bare soil, these facts that can be interconnected, and deforestation the first phase in the implementation of an irrigation in a natural area.

Keywords: Basin planning; QGIS; Modeling; Free software.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
.....		
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA		12
2.1	Ciclo Hidrológico e Seus Componentes.....	11
2.2	Bacia Hidrográfica	13
.....		
2.3	Parâmetros Morfofisiográficos	16
.....		
2.4	Elaboração De Planejamento Conservacionista Em Nível De Bacia Hidrográfica.....	17
2.4.1	Contextualização Das Bacias Hidrográficas Com O Histórico Da Legislação Pertinente.....	17
2.5	Programas Nacionais Com Ênfase Em Bacias Hidrográficas: Revitalização.....	18
2.5.1	Usos das Bacias Hidrográficas.....	18
2.6	Bacia do Rio Pontal.....	20
3. CAPÍTULO 1. Caracterização Morfométrica Da Bacia Hidrográfica Do Rio Pontal Através De Dados Srtm Em Softwares Livre		21
.....		
	Introdução	22
	Material e Método	23
	Resultados e Discussões	27
.....		
	Conclusões	34
	Referência Bibliográfica	35
.....		
4. CAPÍTULO 2. Caracterização Temporal Do Uso Do Solo Da Bacia		

Hidrográfica	Do	Rio	Pontal	39
.....				
Introdução				40
Material e Método				41
Resultados	e		Discussões	45
.....				
Conclusões				50
Referência			Bibliográfica	51
.....				
5. CONCLUSÃO GERAL				54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS				55

1. INTRODUÇÃO

A energia solar proporciona o acionamento de todo o processo de ciclagem da água na Terra, com sua retirada dos oceanos e dos corpos d'água através da evaporação e retendo na atmosfera em forma de vapor. De forma dinâmica, acontece a circulação em todo o globo, influenciado pela diferenciação da presença e absorção de energia.

As etapas/fenômenos do ciclo hidrológico que ocorrem em uma bacia hidrográfica são duas direções a vertical e a longitudinal. A vertical pode ser representada pelos fenômenos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo. A longitudinal é composta pelo escoamento na direção do gradiente da superfície (escoamento superficial) e na do subsolo (escoamento subterrâneo).

Para Tucci (2004), bacia hidrográfica é uma porção de área topograficamente drenada por corpos d'água dinâmicos, de tal forma que todo o fluxo seja descarregado por uma única saída. Complementando as definições, Word Vision (2004), trata como um espaço tridimensional. Esta estrutura é caracterizada pela interação entre a cobertura e as profundidades do solo e as áreas circundantes das linhas divisórias das águas.

E que através da contribuição do relevo, uma bacia hidrográfica sempre se interliga com várias outras, existindo uma hierarquia superior que constitui-se em relação à última, uma sub-bacia. Assim, a utilização da terminologia de bacia e sub-bacias hidrográficas é relativa.

Segundo Crispim (2011), apesar desta hierarquia, a caracterização dos aspectos físico-ambientais, intrínsecos a cada bacia hidrográfica, são visualizados de forma

interdependente entre cada uma. Assim, leva-se em conta os componentes ambientais na perspectiva de uma análise integrada em cada um dos aspectos, geológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos, pedológicos e a cobertura vegetal. Ressalta-se a constante dinâmica de interação, nos ecossistemas como um todo, referente as interferências naturais e as de natureza antrópica.

Procedimentos para caracterização morfofisiográfica de uma bacia inicia-se com a utilização de informações de relevo. Em um tempo mais remoto era em formato analógico, como os mapas e cartas, comprometendo a confiabilidade. Nos dias já predomina o uso digital de cartas cartográficas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), gerando as formas digitais de representação do relevo, os Modelos Digitais de Elevação (MDE's) (CARDOSO et al., 2006).

As principais características físicas de bacias hidrográficas são obtidas por meio de uso de programas de SIG's: área de drenagem (A) e perímetro da bacia (P), coeficiente de compacidade (Kc), fator de forma (Kf), hierarquização dos cursos d'água, densidade de drenagem (Dd), densidade de confluências (Dc) e declividade média da bacia (s).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Ciclo Hidrológico E Seus Componentes

A energia solar proporciona o acionamento todo o processo de ciclagem da água em toda a Terra, acontecendo a retirada de água dos oceanos e dos corpos d'água na superfície terrestres através da evaporação, ficando retido na atmosfera em forma de vapor. De forma dinâmica, acontece a circulação em todo o globo, influenciado pela diferenciação da presença e absorção de energia.

Com essa dinâmica, o próprio sistema de circulação, vai proporcionar o resfriamento do ar úmido que originará as nuvens. Com as condições climáticas mais favoráveis ainda, pode gerar precipitações no formato líquido ou sólido.

As etapas/fenômenos do ciclo hidrológicos que ocorre em uma bacia hidrográfica pode ser observando na Figura 1 e é possível visualizar que as direções de fluxo em absolutamente duas direções, sendo a vertical e a longitudinal. A vertical pode ser representada pelos fenômenos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo. Já longitudinal é composta pelo escoamento na direção do gradiente da superfície (escoamento superficial) e na do sub-solo (escoamento subterrâneo).

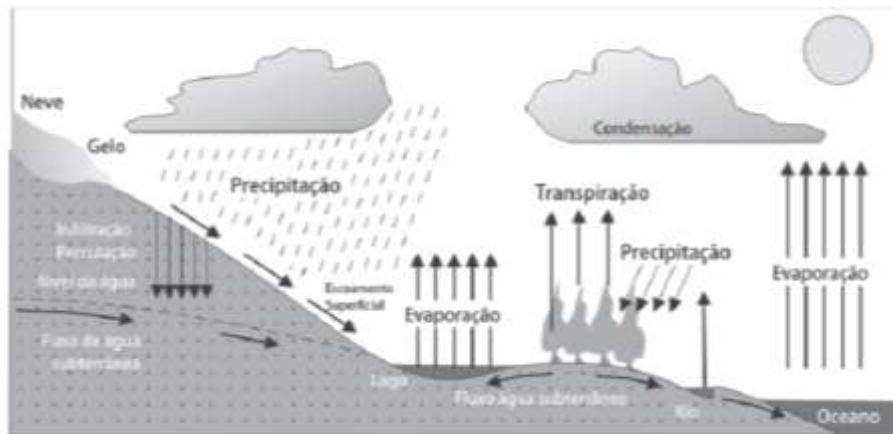


Figura 1: Representação de um ciclo hidrológico bidimensional (IGBP, 1993).

Através de estudos, Tucci e Clarke (1997) detalharam o fluxo vertical em positivos e negativos (Figura 2):

O fluxo sobre a superfície terrestre é positivo (precipitação menos evaporação), resultando nas vazões dos rios em direção aos oceanos. O fluxo vertical dos oceanos é negativo, com maior evaporação que precipitação. O volume evaporado adicional se desloca para os continentes através do sistema de circulação da atmosfera e precipita, fechando o ciclo.

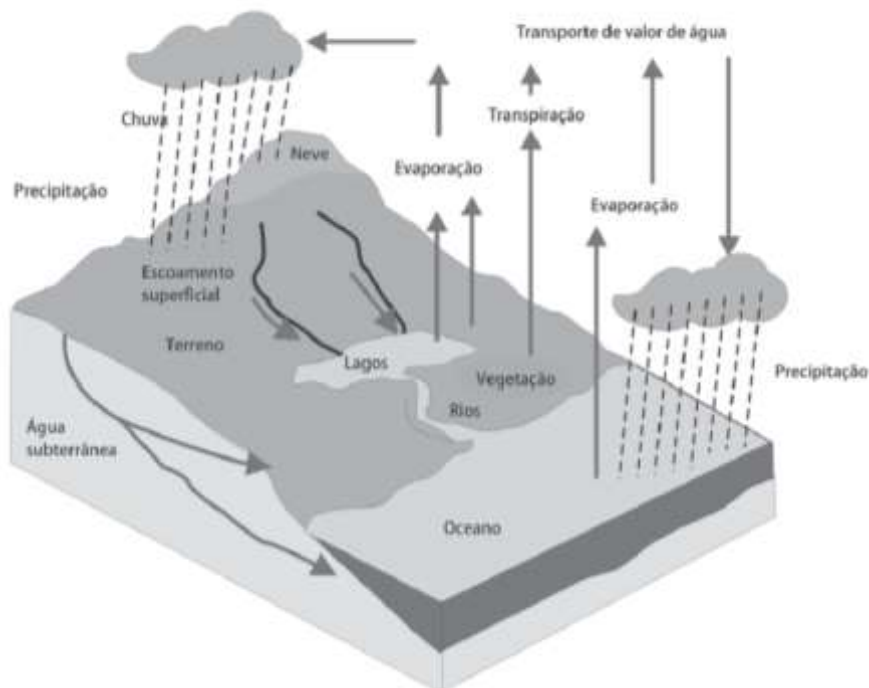


Figura 2: Representação de um ciclo hidrológico (IGBP, 1993).

Nesse ciclo dinâmico da água, há um destaque para a importância da presença de vegetação, pois esta funciona como um regulador do fluxo do escoamento superficial. Inicialmente retém uma parcela das precipitações e através das suas raízes retém o

excesso de umidade do solo. Além de se comportar como impedimento físico para o processo erosivo e cobertura do solo.

Da mesma importância dos benefícios supracitados, tem-se que solos que são desprovidos de cobertura e por consequência compactos, apresentam a capacidade de infiltração reduzida, proporcionando o aumento do escoamento superficial.

A interface entre solo-vegetação-atmosfera tem grande influência no ciclo hidrológico. De maneira geral não estão associados não apenas os processos naturais, apesar das complexidades, existem também a interferência do ser humano no meio natural.

2.2 Bacia Hidrográfica

Bacia hidrográfica (Figura 3) pode ser definida como uma área de terra delimitada pelas regiões mais altas do relevo, sendo que estas vão propiciar a divisão das águas pluviais, que através do escoamento superficial vai ocorrer a formação dos riachos e rios, ou através da infiltração no solo que originará nascentes e lençol freático (BARRELLA et al., 2001).

Para Tucci (2004), a compreensão é de uma porção de área topograficamente drenada por corpos d'água dinâmicos, de tal forma que todo o fluxo seja descarregado por uma única saída. Complementando as definições, Word Vision (2004), trata como um espaço tridimensional. Esta estrutura é caracterizada pela interação entre a cobertura e as profundidades do solo e as áreas circundantes das linhas divisórias das águas.

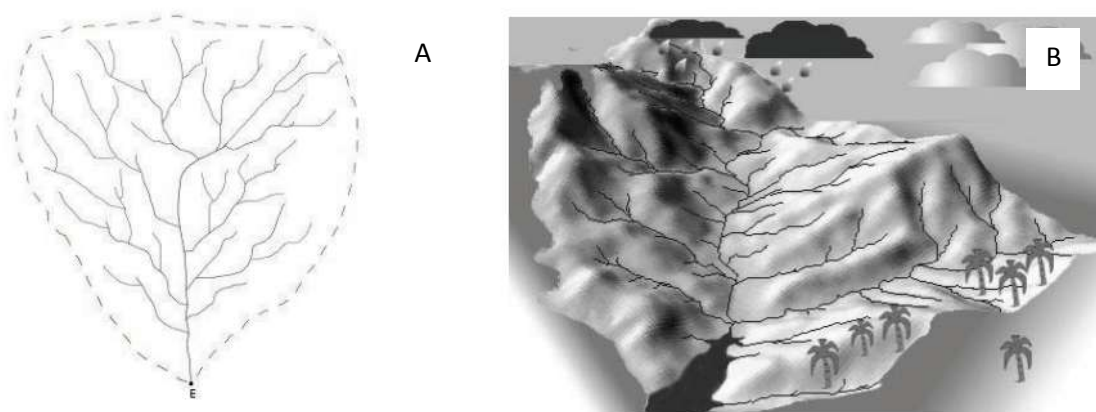


Figura 3: Representação genérica de uma bacia hidrográfica, com os divisores de água, as sub-bacias e a drenagem principal (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2002).

A composição das bacias hidrográficas é basicamente canais de escoamento de água. Nestes, a quantidade de água é variável e depende das suas características, como o

tamanho da área ocupada que direciona a água, além dos processos naturais que vão realizar o balanço hídrico (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Para outros autores, há uma outra descrição dos elementos que compõem uma bacia hidrográfica e respectivamente torna-o as suas características Pissarra e Politano (2003), sendo:

A planície de inundação é aquela extensão do terreno geralmente plana, na posição baixa, que normalmente se apresenta como extensões contíguas aos canais de drenagem. O interflúvio é identificado como “terras altas” situadas entre duas planícies de inundação e composto pelas encostas e pelo divisor, constituindo-se, desse modo, na porção do terreno de maior expressão para o uso agrícola. As encostas ou vertentes são os locais onde ocorre a máxima manifestação dos processos hidrológicos. Na parte mais alta situa-se a área de maior valor florestal, e de acordo com suas características ecológicas e hidrológicas é considerada como pertence à classe de uso florestal.

Para Tucci e Clarke (2006), as principais características da uma bacia hidrográfica são basicamente 4, a área de drenagem, o comprimento do rio principal, a declividade do rio e a declividade da bacia.

Através da contribuição do relevo, uma bacia hidrográfica sempre se interliga com várias outras, existindo uma hierarquia superior que constitui-se em relação à última, uma sub-bacia. Assim, a utilização da terminologia de bacia e sub-bacias hidrográficas é relativa.

Segundo Crispim (2011), apesar desta hierarquia, a caracterização dos aspectos físico-ambientais, intrínsecos a cada bacia hidrográfica, são visualizados de forma interdependente entre cada uma. Assim, leva-se em conta os componentes ambientais na perspectiva de uma análise integrada em cada um dos aspectos, geológicos, geomorfológicos, climáticos, hidrológicos, pedológicos e a cobertura vegetal. Ressalta-se a constante dinâmica de interação, nos ecossistemas como um todo, referente as interferências naturais e as de natureza antrópica.

Desse modo, a influência das características físicas e bióticas em uma bacia é de fundamental importância em processos do ciclo hidrológico, principalmente, na infiltração, na quantidade de água pluviométrica, na evapotranspiração e no escoamento superficial e subsuperficial para uma área delimitada qualquer.

O armazenamento de dados ao longo do tempo, dos fenômenos hidrológicos supracitados, de forma representativa e homogênea possibilita o cálculo da probabilidade e do tempo de retorno de um determinado fenômeno.

A probabilidade e o tempo de retorno são uma das mais utilizadas para estudos e previsões em uma bacia. Utilizando os dados históricos de níveis e vazões, estima-se a probabilidade pela qual estes venham a ser igualados ou superados no futuro. O tempo de retorno é apresentado da forma inversa a probabilidade de ocorrência

$$T = 1/P \quad \text{Equação 1}$$

sendo, T o tempo de retorno e P a probabilidade.

Tem-se com exemplo: Um tempo de retorno de 20 anos significa que, em média, um determinado fenômeno pode se repetir a cada 20 anos e em cada ano, tem uma possibilidade de ocorrer em 5%.

Outra forma de determinação da probabilidade de ocorrência dos fenômenos hidrológicos é:

$$P_n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad \text{Equação 2}$$

cujo n é o período em anos que anseia-se a probabilidade, por conseguinte P_n é a probabilidade de anseio.

2.3 Parâmetros Morfofisiográficos

Procedimentos para caracterização morfofisiográfica de uma bacia inicia-se com a utilização de informações de relevo. Em um tempo mais remoto era em formato analógico, como os mapas e cartas, comprometendo a confiabilidade (CARDOSO, 2006). Nos dias já predomina o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) e também, formas digitais de representação do relevo, os Modelos Digitais de Elevação (MDE's) (GARBRECHT e MARTZ, 1999).

As principais características físicas das sub-bacias hidrográficas são obtidas por meio de uso de programa de SIG: área, perímetro e comprimento axial da bacia, comprimento do rio principal, extensão total da rede de drenagem, altitudes máximas e mínimas e extensões das curvas de nível dentro da área da bacia. Com base nestas características físicas, descrito por Calil (2009) e Politano e Pissarra (2003), pode-se obter os seguintes atributos morfométricos e fisiográficos: fator de forma (Kf); coeficiente de compacidade (Kc); índice de circularidade (Ic); frequência da rede de drenagem (Dr); sinuosidade do rio principal (Sin); coeficiente de manutenção (Cm); densidade de drenagem (Dd); razão de textura (T); declividade média da bacia

(H); amplitude altimétrica (Hm); relação do relevo (Rr); índice de rugosidade (Ir) e coeficiente rugosidade (CR).

Conhecido as características morfológicas, pode conhecer a semelhança geométrica entre as sub-bacias (STRAHLER, 1952), “que permite comparar as semelhanças entre as sub-bacias, pelas médias ponderadas de seus parâmetros dimensionais. Os atributos utilizados neste método são: comprimento axial (La) e maior largura das bacias (L); comprimento do rio principal (Lp), comprimento total da rede (Lr), perímetro (P) e área (A) das bacias, em que os numeradores das relações lineares se referem aos atributos de uma bacia e os denominadores a uma segunda bacia”.

Conhecendo os parâmetros lineares (Rm) e a razão das áreas (A/A') realiza-se o teste de semelhança geométrica, que quanto mais próximo A/A' for de Rm² pode considerar-se a semelhança geométrica entre as sub-bacias analisadas.

2.4 Elaboração De Planejamento Conservacionista Em Nível De Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica, como unidade de gestão, é ideal para se caracterizar, diagnosticar, avaliar e planejar o uso dos recursos. Faz-se fundamental o conhecimento de fatores sócio-culturais e o envolvimento da comunidade no processo, devendo-se observar a valorização das práticas tradicionais de produção sustentável; o incentivo à capacitação e extensão para melhorar a produção; o desenvolvimento de programas informativos sobre educação ambiental; a elaboração, implementação e avaliação de planos de manejo com baixas inversões; e a criação de condições para que os agricultores possam dar continuidade aos projetos (HOLLANDA et al., 2012).

2.4.1 Contextualização Das Bacias Hidrográficas Com O Histórico Da Legislação Pertinente

Uma das mais significativas alterações da dinâmica da água em uma bacia hidrográfica é modificação da superfície desta. Normalmente os impactos são de remoção

de itens que possuem a capacidade de retenção e suavização da água no escoamento superficial, provocando reduções e incremento nas vazões mínimas e máximas, respectivamente, e por conseguinte alteração nas condições ambientais local e a jusante.

O exemplo mais encontrado nos dias atuais é o desmatamento, que tende a aumentar a vazão devido a redução da evapotranspiração e infiltração. A condição de recuperação do meio, através de reflorestamento, converge para uma recuperação das condições naturais iniciais, ao passo que a capacidade de infiltração da bacia aumenta novamente (ALMEIDA, 2007).

O crescimento populacional do mundo provoca, nos dias atuais, uma grande demanda por recursos naturais. Em especial tem-se necessidade de água para as atividades humanas, sendo para o abastecimento, a geração de energia, a agricultura e entre outros.

No nosso país, apesar de ser conhecido por possuir grande disponibilidade hídrica, a distribuição não ocorre de forma igualitária ao longo de seu território. Esta situação aliada com o uso não consciente e econômico, poluição de rios e degradação de nascentes, acentua a escassez de água de boa qualidade (AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS, 2002).

Com a crise de demandas hídrica vivenciada na década de 70, começou a se pensar sobre a gestão dos recursos hídricos no país. Assim políticas públicas sobre o manejo de bacias teve seu início, deixando toda a sociedade em alerta quanto a sua importância.

Na forma de lei, entrou em vigor na data de 8 de janeiro de 1997 a Lei Federal nº 9.433, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). E logo no seu primeiro artigo trata da importância do manejo de uma bacia hidrográfica, "a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do SNGRH".

2.5 Programas Nacionais Com Ênfase Em Bacias Hidrográficas: Revitalização

O conceito de revitalização de bacia hidrográfica não está previsto na legislação brasileira, porém a Constituição Federal estabelece no artigo 21, como competência da União, "a instituição de sistema de gerenciamento de recursos hídricos e a definição de critérios de outorga de direitos de seu uso" (Brasil, 1988).

2.5.1 Usos Das Bacias Hidrográficas

A aplicação do termo “desenvolvimento sustentável” está relacionado com o planejamento de atividades antrópicas e da utilização dos recursos naturais, com objetivo de garantir a manutenção dos bens ambientais para as gerações futuras (PIRES e SANTOS, 1995). Um bem que já tem consequências do desenvolvimento insustentável é a água.

A problemática da água no Brasil não é verdadeiramente a ausência, mas sim a indisponibilidade de água em qualidade compatível ao consumo humano. Esse grave problema acontece devido à falta do gerenciamento adequado e a distribuição desuniforme sobre a Terra (SBPC, 2015).

De uma forma geral, devido principalmente ao manejo incorreto dos corpos hídricos, há uma preocupação nos programas de despoluição e revitalização das bacias, adaptados às realidades urbanas, com a expectativa de reestabelecer uma ambiência com características naturais. Tem-se destaque para casos especiais, como bacias hidrográficas que possuam grandes rios e represas. Para implementação de uma política deste porte deve-se pensar de forma audaciosa e com boas ideias, sendo estes os caminhos que levarão a um sucesso futuro.

Para o Governo Federal, através do Ministério do Meio Ambiente (2015), o programa de Revitalização de Bacias Hidrográficas tem como objetivo:

Recuperar, conservar e preservar as bacias hidrográficas em situação de vulnerabilidade ambiental, por meio de ações permanentes e integradas que promovam o uso sustentável dos recursos naturais, a melhoria das condições socioambientais e a melhoria da disponibilidade de água em quantidade e qualidade para os diversos usos.

Um programa de revitalização de uma bacia hidrográfica é a oportunidade de abordar, com uma determinada sociedade, as questões referentes à renovação da qualidade ambiental. O envolvimento das comunidades do entorno das diversas bacias agregará conhecimento e consequências positivas (FADEL e CAMPOS, 2013).

A revitalização implementada pelo Governo Federal visa o desenvolvimento de ações integradas e permanentes para a promoção do uso sustentável dos recursos naturais, da melhoria das condições sócio-ambientais, do aumento da quantidade e da melhoria da qualidade da água para os diversos usos. E está estruturado da seguinte forma:

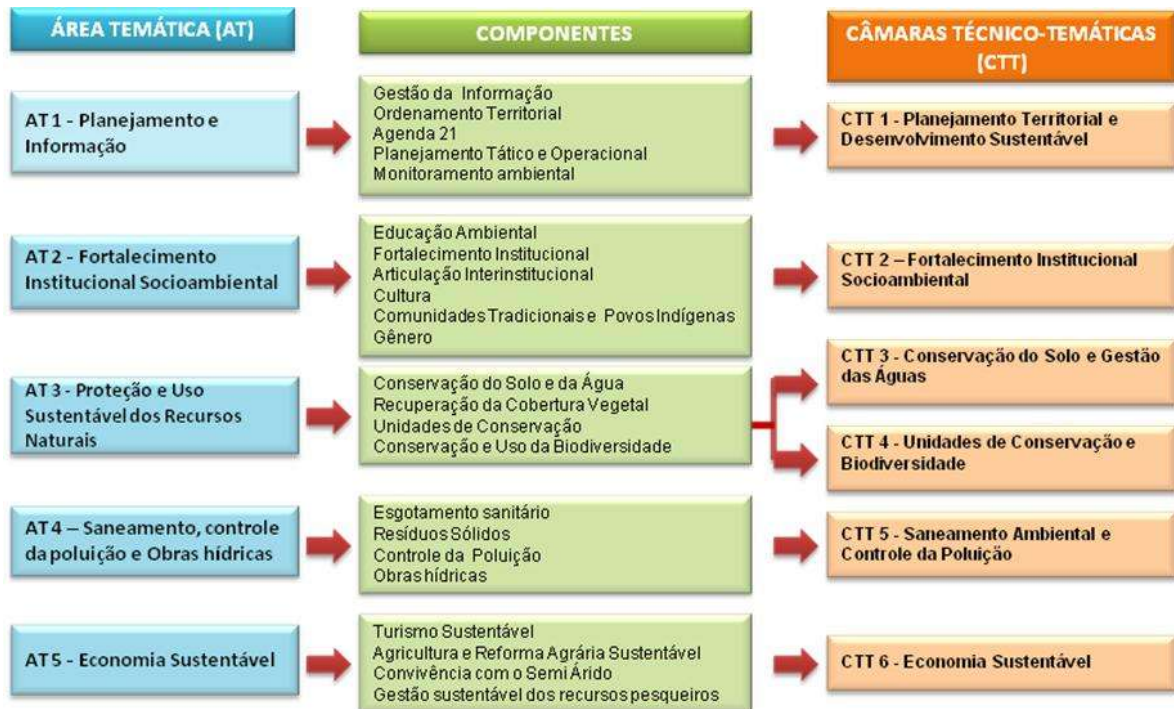


Figura 4: Arranjo técnico temático do Programa de Revitalização de Bacias Hidrográficas em situação de vulnerabilidade ambiental

2.6 Bacia do Rio Pontal

A Bacia do Rio Pontal possui uma área de 6.023km², situada entre os municípios de Petrolina, Afrânio, Dormentes e Lagoa Grande, no estado de Pernambuco, e tem seu dreno natural como tributário do rio São Francisco na sua margem esquerda (Figura 5). O dreno principal da bacia tem um comprimento de 206 km e segundo a classificação de Strahler (1952) é um rio de ordem cinco (SILVA et al., 2012).

A bacia tem declividade abaixo de 15%, mediana na ordem de 2%, e relevo plano na maior parte do território, com cotas que variam entre 700 a 360 m. A vegetação é do tipo Caatinga e classificada como Savana Estépica Arborizada. A precipitação pluviométrica, principal fonte hídrica da região, registra historicamente, totais anuais inferiores a 600 mm, com trimestre mais chuvoso de janeiro a março, e déficit hídrico em 8 a 10 meses na maioria dos anos, com igual período de severa seca edáfica. O clima local foi classificado, segundo Köppen, como sendo megatérmico e semiárido, do tipo BSw^h' (SILVA et al., 2012).



Figura 4: Relevo da Bacia do Rio Pontal

3. CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTAL ATRAVÉS DE DADOS SRTM EM SOFTWARES LIVRE¹

Iug Lopes², Clovis Manoel Carvalho Ramos³, Brauliro Gonçalves Leal⁴

RESUMO

O objetivo deste estudo foi de avaliar a caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal através de dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) processados em Sistema de Informações Geográficas (SIG), com o auxílio dos softwares livres Quantum GIS (QGIS) 2.8 e Terrain Análise Ucantar Digital Elevation Modelos (TauDEM) V.5. A declividade média foi de 4,45% e mais de 92% da área da bacia apresentou declividades menores que 8%. A bacia possui 6046,23 Km², considerada de 6º ordem, com drenagem de 0,42 Km Km⁻². Apresentou ainda fator de forma de 0,41 m m⁻¹, coeficiente de compacidade de 0,72 e índice de circularidade de 0,32, indicando que a bacia possui formato muito alongado e por conseguinte, baixa tendência a enchentes.

Palavras-chave: Análise fisiográfica; QGIS; TauDEM.

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION BASIN PONTAL RIVER THROUGH SRTM DATA IN FREE SOFTWARE

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the morphometric characterization Pontal River Basin through the Shuttle Radar Topography Mission data (SRTM) processed in Geographic Information System (GIS) with the help of free software Quantum GIS (QGIS) 2.8 and Terrain Analysis Ucantar Digital Elevation Models (TauDEM) V.5. The average slope was 4.45% and over 92% of the basin area had lower slopes than 8%. The basin has 6046.23 Km², considered the 6th order with drainage 0.42 Km Km⁻². He also presented form factor of 0.41 m m⁻¹, compactness and circularity coefficient of 0.72 index of 0.32, indicating that the basin has very elongated shape and therefore low risk of flooding.

Keywords: physiographic analysis; QGIS; TauDEM.

¹ Parte da dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola do primeiro autor. Formatação conforme Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

² Mestrando em Engenharia Agrícola. iuglopes@hotmail.com

³ Doutor, Professor, Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Av. Antonio Carlos Magalhães, 510 Country Club, Juazeiro-BA. CEP: 48.902-300. clovis.ramos@univasf.edu.br

⁴ Doutor, Professor, Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Av. Antonio Carlos Magalhães, 510 Country Club, Juazeiro-BA. CEP: 48.902-300. brauliro.leal@univasf.edu.br

INTRODUÇÃO

Desenvolvimento de Sistema de Informação Geográfica (SIG) está sendo aberto a uma nova perspectiva, sendo utilizado na avaliação e morfometria de bacia hidrográficas com grande precisão. Atualmente as técnicas de geoprocessamento estão sendo aplicadas para análise de terrenos e bacias hidrográficas, com estas obtêm-se um ambiente flexível e poderosa ferramenta para a manipulação e análise da informação espacial (Pareta & Pareta, 2011)

A inserção de informações de relevo em ambiente SIG permite o conhecimento de características em quaisquer bacias hidrográficas. O conhecimento morfométrico é gerado através metodologias consolidadas (Strahler, 1957; Horton, 1945) e atualmente tem usado, de forma demasiada, as informações de dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Segundo Rodriguez et al. (2006) a precisão de dados SRTM é de boa qualidade, porém, em estudo realizado (Falorni et al., 2005) demonstrou que a qualidade pode reduzir dependendo da topografia, sendo maior redução em relevo montanhoso ou de grande inclinação.

Em estudos realizados por Oliveira et al. (2010), observaram que a caracterização morfométrica de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM, em ambiente SIG, pode proporcionar um auxílio no âmbito da gestão e do gerenciamento de recursos hídricos. Minimizando os custos e o tempo para construção destes trabalhos.

A utilização da ferramenta SIG já foi consolidada para tratamentos de dados SRTM (Gurugnanam & Kalaivanan, 2014; Sreedevi et al., 2013, Guedes & Silva, 2012, Elesbon et al., 2011). Uma alternativa complementar para que os tratamentos de dados SRTM tornem-se mais práticos e viáveis é a utilização de softwares livres.

As características físicas de uma bacia hidrográfica representam um papel fundamental na avaliação de estudo hidrológico, sendo este capaz de simplificar a complexa dinâmica de uma bacia (Santos et al. 2012). Desse modo um dos procedimentos mais comuns utilizados em análises hidrológicas ou ambientais é a delimitação de uma bacia hidrográfica, chegando a modelagem hidrológica utilizando como ferramenta geoprocessamento.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal (BHRP) através de dados do projeto SRTM processados em SIG, com o auxílio dos softwares livres Quantum GIS (QGIS) 2.8 e Terrain Análise Ucantar Digital Elevation Modelos (TauDEM) V.5.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Pontal (BHRP) (Figura 1), que está localizada no extremo oeste do Estado de Pernambuco, entre 08°20'00" e 09°13'40" de latitude sul, e 40°11'24" e 41°20'53" de longitude oeste, abrangendo parte dos municípios de Petrolina, Afrânio, Dormentes e Lagoa Grande. Tem uma área de drenagem de 6046,00 km², 178,62km de comprimento do curso d'água principal e tem sua foz do lado esquerdo do Rio São Francisco na cidade de Lagoa Grande. O curso do Rio Pontal tem a direção no sentido noroeste-sudeste.

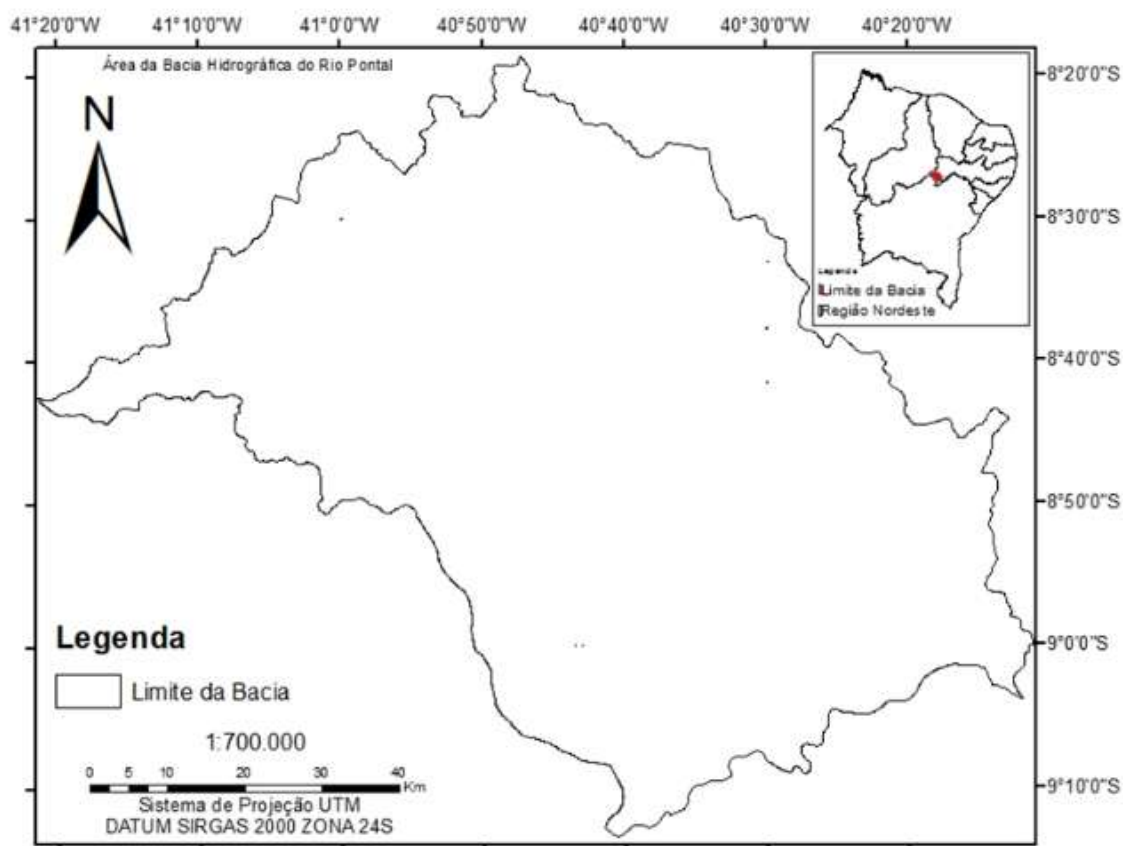


Figura 1. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio do Pontal-PE.

Processamento dos dados SRTM

Obteve-se os dados Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) junto à United States Geological Survey (USGS), com informações originais disponíveis para a América do Sul referentes a banda C do equipamento InSAR, apresentando resolução espacial de 90 m. As cartas utilizadas foram a SC-24-V-A e a SC-24-V-B de dados da SRTM, que corresponde a um mosaico para área estudada.

Para a extração das redes de drenagem o Modelo Digital de Elevação (MDE) passou pelos tratamentos descritos abaixo com o auxílio dos Softwares livres Quantum GIS (QGIS) 2.8 e Terrain Análise Ucantar Digital Elevation Modelos (TauDEM) V.5, que é composta pelas ferramentas para a extração e análise de informações hidrológicas de topografia.

Inicialmente para eliminar os pixels sem valores de elevação foi utilizado a ferramenta "Pit Remove", originando um novo MDE. A partir de então, com o auxílio das ferramentas "D8 Flow Directions" foi possível gerar os mapas no formato GRID contendo as informações de direções de fluxo e declividade (*slope*).

Para a composição do mapa da área de contribuição de fluxo utilizou-se da ferramenta "D8 Contributing Area" e do mapa de fluxo de direção. Com a origem deste, pode-se obter a área de contribuição corresponde aos limites da bacia hidrográfica determinado a partir do ponto exutório (inclusive em um *Shape* do tipo ponto), permitindo a primeira visualização da rede de drenagem.

A definição dos corpos hídricos passou por um reajuste do limiar que se refere ao número mínimo de células do terreno necessárias para gerar *pixels* da drenagem, através da ferramenta "Stream Definition by Threshold", assim permitiu a extração do fluxo e das drenagens. Rennó et al. (2008) estudando a variação do limiar observou que índice para verificação hidrológica acima do limiar de 300 foi o mais indicado. Assim para este estudo foi adotado também o valor de limiar indicado por Rennó et al. na extração do fluxo de drenagem.

Diante do reajuste do limiar, obteve-se a hierarquia dos rios, as sub-bacias e a rede de drenagem com o auxílio da ferramenta "Stream Reach and Watershed". O método utilizado para demarcação automática dos limites da Bacia Hidrográfica do Rio do Pontal foi de acordo com classificação da hierarquização fluvial proposta por Strahler

(1957). Assim finalizou a etapa de geração de mapas e iniciou a caracterização da bacia e sub-bacias, que ocorreu utilizando recursos do SIG e as equações da Tabela 1.

Tabela 1. Equações dos parâmetros físico, hidrográfico e do relevo, utilizados para a caracterização morfométricas da BHRP

Parâmetro	Descrição	Equação	Fonte
Fator de forma ^F (Kf)	Relação entre a área da bacia (A) e o comprimento do eixo da bacia (L).	$Kf = A/L^2$ (m ² /m)	Horton (1945)
Coefficiente de compacidade ^F (Kc)	Relação entre o perímetro (P) da bacia e a área da bacia (A).	$Kc = 0,28(P/\sqrt{A})$ (m/m ²)	Lima (1969)
Índice de circularidade ^F (IC)	Relação entre a área da bacia (A) e o perímetro (P) da bacia.	$IC = 12,57$ (A/P ²)	Miller (1953)
Razão de alongação ^F (Re)	Relação entre índices pré determinados, a área da bacia (A) e o comprimento do eixo da bacia (L).	$Re = 1,128[(A^{0,2})/L]$	Schumm (1963)
Densidade de drenagem ^H (Dd)	Relação entre o comprimento da rede de drenagem (Cr) e a área da bacia (A).	$Dd = Cr / A$ (km/km ²)	Horton (1945)
Densidade hidrográfica ^H (Dh)	Relação entre o número de segmentos de rios (Nt) e a área da bacia (A).	$Dh = Nt/A$ (km ²)	Christofoletti (1969)
Declividade de álveo ^H	Relação da variação da cota (ΔH) e do comprimento do rio principal (R); Da área abaixo do perfil (A_{bp}); Da extensão horizontal (Li) e da declividade (Di), ambos de cada trecho.	$S1 = \Delta H/R$ $S2 = 2 * A_{bp}/R^2$ $S3 = L/[\sum(R_i/\sqrt{D_i})]$ $S4 = \Delta H/R$ (10-85%)	Villela e Mattos, 1975
Índice de sinuosidade do rio principal ^H (IS)	Relação entre o comprimento do rio principal (R) e o perímetro do talvegue do rio principal (L_{RP}).	$IS = 100(Rp - L_{RP}) / Rp$	Schumm (1963)
Razão de textura ^H (T)	Relação entre o número de segmentos de rios (Nt) e o perímetro da bacia (P).	$T = Nt/P$ (km ⁻¹)	França (1968) Smith (1950)
Sinuosidade do rio principal ^H (Sin)	Relação entre o comprimento do rio principal (R) e o perímetro do talvegue do rio principal (L_{RP}).	$Sin = R / L_{RP}$	Schumm (1963)
Índice de rugosidade ^R	Relação entre a variação da cota (ΔH) e a Densidade de drenagem (Dd).	$Ir = \Delta H * Dd,$	Christofoletti (1969)

Razão de relevo ^R (Rr)	Relação entre a variação da cota (ΔH) e o comprimento do eixo da bacia (L).	$Rr = \Delta H/L$	Christofolletti (1969)
-----------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------	-------------------	------------------------

A caracterização foi realizada através de cálculos dos parâmetros físicos que relacionam as principais medidas da bacia por área de drenagem, perímetro da bacia, coeficiente de compacidade, fator de forma, razão de alongação e índice de circularidade.

Para as características da hidrografia, que relacionam as principais medidas da rede hidrográfica da bacia, foi determinado o ordenamento dos canais por hierarquia segundo Strahler (1957), a densidade de drenagem, a densidade hidrográfica, a sinuosidade do curso principal, o índice de sinuosidade, o perfil longitudinal e a declividade de álveo (S1, S2, S3 e S4).

As características do relevo, que relacionam as principais medidas do comportamento das altitudes e declividades na bacia, foram determinadas as curvas hipsométrica e de declividades (Villela e Mattos, 1975), o índice de rugosidade e a razão de relevo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação das características da BHRP permitiu a observação do comportamento espacial da altitude, através do modelo digital de elevação (MDE), e da declividade, pelo modelo digital de declividades (MDD), apresentados nas Figuras 2 e 3 respectivamente.

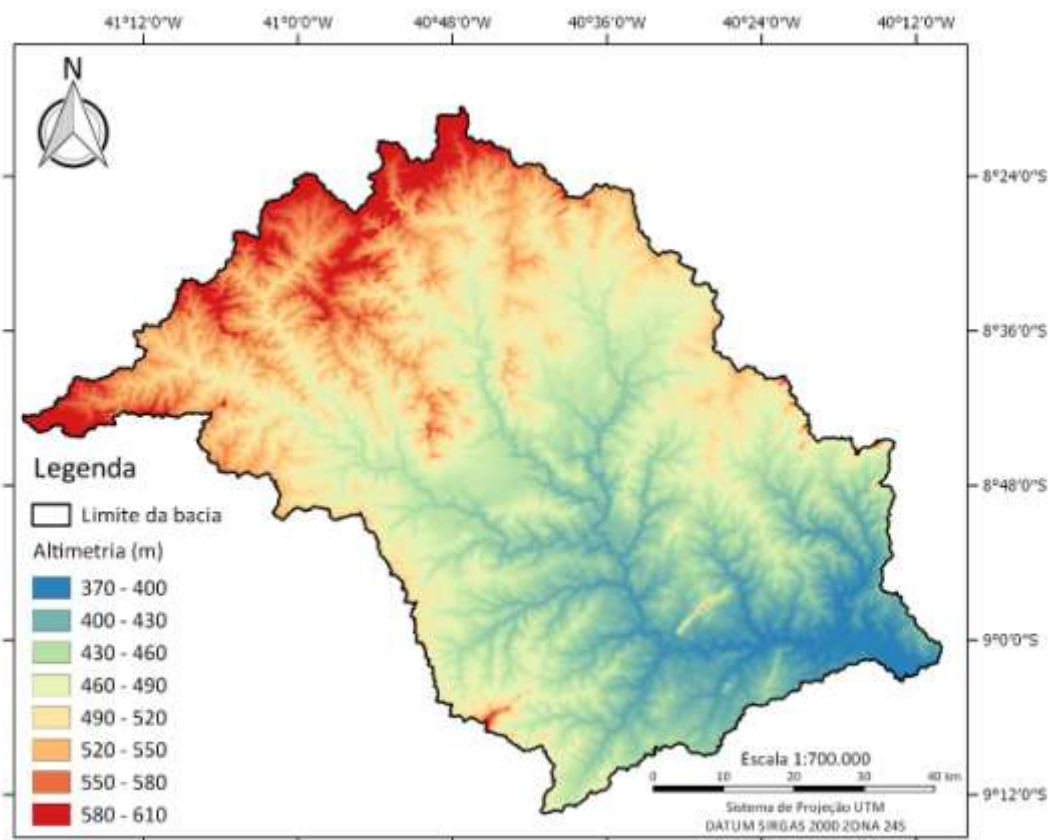


Figura 2. Representação do modelo digital de elevação da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal, em Pernambuco.

Existe predominância de classes de altitude de 460m e declividade 4,45 % de inclinação, o que caracteriza um relevo do tipo suave ondulado, segundo a classificação da EMBRAPA (2009). A caracterização do relevo em valores de declividade por área é apresentada na tabela 2.

Tabela 2. Área das classes de declividade da Bacia Hidrográfica do Rio da Pontal, em Pernambuco

Valor	Classes	Área (%)
0 – 3 %	Plano	47,13
3 – 8 %	Suave ondulado	45,05
8 – 20 %	Ondulado	7,19
20 – 45 %	Forte ondulado	0,60
45 – 75 %	Montanhoso	0,03

Com a visualização da Figura 2, fica evidente a relação entre o modelo digital de elevação e a representação da rede de fluxo, o que possibilita a determinação de todas as conectividades a montante e a jusante dos cursos d'água. Essa relação, que é implícita,

foi complementada por Medeiros et al. (2009), onde relata que em cada célula da estrutura de um MDE contempla um micromapeamento da direção de fluxo, o que torna possível e explícito a direção do fluxo de água para cada área estudada.

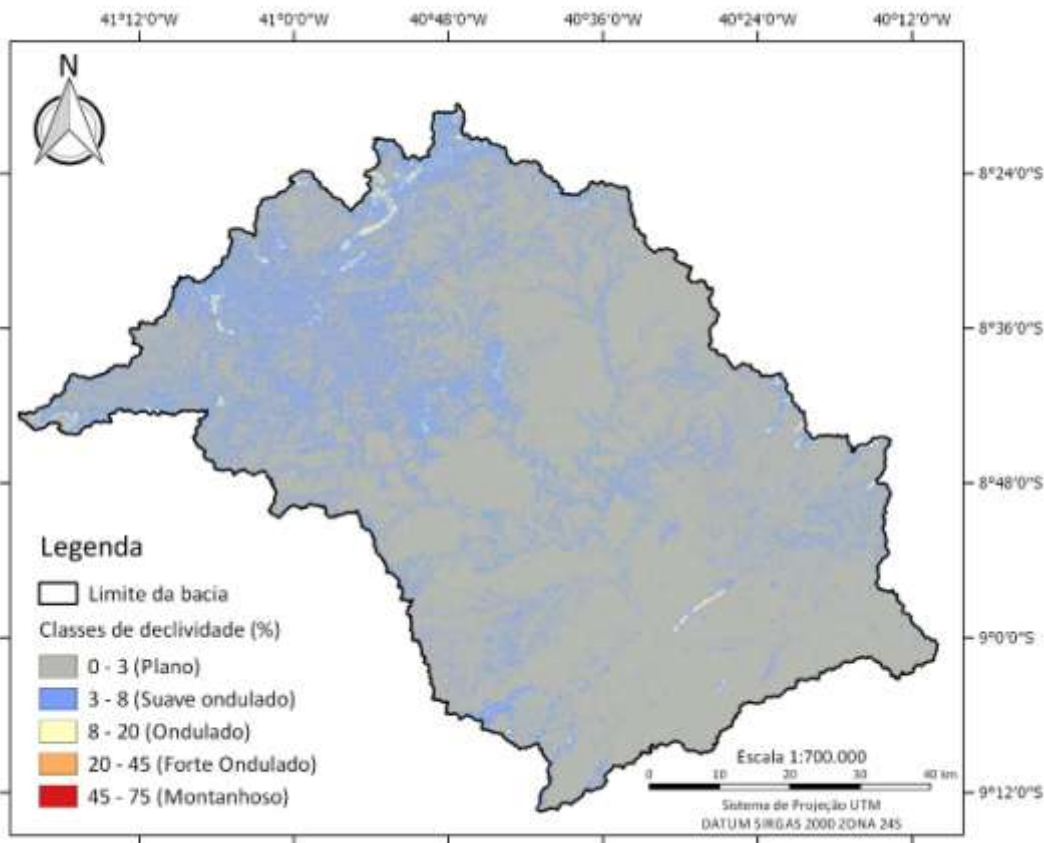


Figura 3. Representação do modelo digital de declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal, em Pernambuco.

A partir do modelo digital de declividade observou-se que a declividade máxima foi de 56%, a declividade média foi de 4,45% e mais de 92% da área da bacia apresentou declividades menores que 8%. Os valores encontrados por Silva et al. (2012) foram pouco diferentes, sendo 48% e 3,3%, para a declividade máxima e média, e de 88,8% para as declividades inferiores a 6%. Desta forma caracteriza-se a BHRP com relevo de plano a suave ondulado.

A declividade apresentada por uma bacia hidrográfica é um dos fatores que afeta consideravelmente a velocidade do escoamento superficial, reduzindo assim a infiltração da água no solo, que, em casos de ausência de cobertura vegetal e elevadas precipitações, potencializam o processo de erosão do solo e a ocorrência de enchentes.

Apesar da BHRP conter uma larga variação no valor da declividade, não apresenta características para potencializar o escoamento superficial e todas as suas consequências negativas para o solo.

Os índices originários da caracterização geométrica da BHRP são apresentados na Tabela 3. Segundo Tucci (2009) uma característica de fundamental importância na definição da sua potencialidade hídrica e hidrológica é a área da bacia, sendo que quanto maior a área, menor a tendência de ocorrer picos de enchentes, devido ao tempo de escoamento para toda a bacia.

Tabela 3. Índices morfométricos de classificação geométrica da Bacia Hidrográfica do Rio da Pontal, em Pernambuco

Características geométricas	Valor
Área de drenagem (A)	6046,23 km ²
Perímetro (P)	484,82 km
Comprimento do eixo (L)	121,08 km
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,74 m m ⁻²
Fator de forma (Kf)	0,41 m/m
Razão de alongação (Re)	0,72
Índice de circularidade (IC)	0,32

Na bacia obteve-se um valor de área (A) de 6046,23km², o que permite inferir que nas épocas de concentração pluviométrica pode ser gerado um grande volume de água, além de influenciar na característica de design dos corpos hídricos. O perímetro (P) da BHRP é de 484,82 e pode auxiliar no entendimento de outras características, sendo representado pelo comprimento da linha que define as zonas mais altas. Estudos realizados por Silva et al. (2012) na mesma bacia observou uma área de 6057,0 km² e o P de 464,0 km, e a diferença entre os valores pode estar associado ao tipo de software utilizado para a análise da imagem SRTM.

O valor de comprimento do eixo (L) foi de 121,08 e pode permitir um conhecimento mais profundo quanto a forma da bacia se esta é mais alongada ou circular, quando associado a outras características.

Através da obtenção do coeficiente de compacidade (Kc), 1,74, pode-se classificar como pouca suscetibilidade a enchentes em condições médias de precipitação, essa caracterização é explicada em virtude do Kc apresentar o valor afastado do unitário.

Quanto ao fator de forma (Kf), com valor de 0,41 m/m, observa-se que é uma bacia de pouca circularidade e com pequena possibilidade de gerar enchentes, segundo a classificação proposta por Villela e Mattos (1975), definindo que quanto mais próximo de 1, mais circular é a bacia e maior é a sua tendência a gerar enchentes rápidas e acentuadas. A caracterização do Kf pode ser complementada com a Re e o IC, sendo 0,72 e 0,32 respectivamente. Esses índices indicam que a bacia não possui formato semelhante ao de uma circunferência, correspondendo, portanto, a uma bacia alongada.

Os índices morfométricos de caracterização hidrográfica são apresentados na Tabela 4. As principais medidas da drenagem da BHRP são comprimento do rio principal de 178,62 km, o comprimento do talvegue do rio principal de 116 km.

Tabela 4. Índices morfométricos de caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio da Pontal, em Pernambuco

Características de hidrografia	Valor
Comprimento do rio principal (R)	178,62 km
Comprimento do talvegue rio principal (L_{RP})	116 km
Comprimento da rede de drenagem (Cr)	2562,15 km
Número de seguimento de córregos d'água (Nt)	1340 und
Padrão de drenagem	Dendrítica
Ordem da bacia	6°
Densidade de drenagem (Dd)	0,42 km km ⁻²
Densidade Hidrográfica (Dh)	0,22 und km ⁻²
Razão de textura (T)	2,76 km ⁻¹
Sinuosidade do rio principal (Sin)	1,53 km km ⁻¹
Índice de sinuosidade	35,06 %
Declividade do Álveo 1 (S1)	0,00134 m m ⁻¹
Declividade do Álveo 2 (S2)	0,000961 m m ⁻¹
Declividade do Álveo 3 (S3)	0,000759 m m ⁻¹
Declividade do Álveo 4 (S4)	0,001075 m m ⁻¹

Pode-se verificar também um quantitativo de 2562,15 Km de Comprimento da rede de drenagem em toda a extensão da bacia, e 1340 unidades de seguimentos de córregos d'água. Essa quantificação vai influenciar diretamente nas características de Densidade de drenagem (Dd), Densidade hidrográfica (Dh) e Razão de textura (T), além de muitas outras de forma indireta.

Observa-se que o sistema de drenagem da BHRP é do tipo dendrítica de acordo com a classificação de Christofolletti (1969) e a ordem da bacia é 6°, de acordo com a classificação de Strahler (1957). Silva et al. (2012) classificou a mesma bacia

hidrográfica como de ordem 5, isso deve estar relacionado a etapa de ajuste do limiar par obtenção da hierarquia dos corpos d'água. Silva et al (2012) utilizou um limiar de 1000 enquanto neste estudo foi utilizado um limiar de 300, o que torna mais sensível a obtenção das características de relevo para a definição dos corpos d'água E pode-se visualizar estas características na Figura 4.

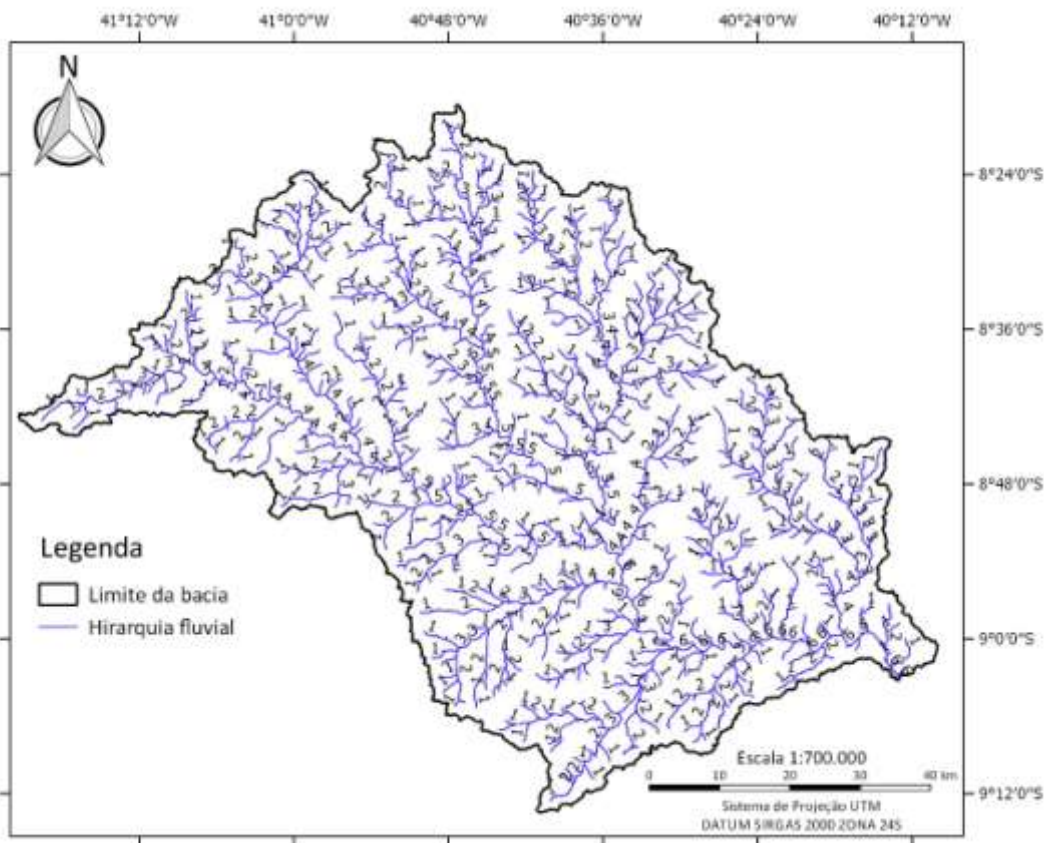


Figura 4. Representação da rede de drenagem e a hierarquia dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal, em Pernambuco.

A Dd foi de $0,42 \text{ Km Km}^{-2}$, que representa a melhor indicação do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem. E para esta bacia verifica-se um sistema com drenagem baixa, que segundo Fraga (2014), possui uma maior superfície de contribuição em relação à quantidade de canais, devido ao relevo plano da bacia e o padrão de chuva da região. De forma semelhante a Dd, a Dh também foi caracterizada, seguindo o parâmetro de Christofolletti (1969), como um baixo número de canais de primeira ordem por km. Verifica-se mais uma vez que os valores encontrados Silva et al. (2012) são numericamente diferentes, porém correspondem a mesma característica

de classificação. Os valores de Dd igual a 0,34 e de Dh igual a 0,12, estes valores estão associados ao limiar utilizado na extração dos fluxos de drenagem nas imagens de SRTM.

Diante das observações de Dd e Dh, de maneira contrária pode-se observar a Razão de Textura (T), com um valor de $2,76 \text{ km}^{-1}$. Essa característica indica um maior número de canais no terreno, porém com baixos valores de razão de bifurcação que são justificados pela Dd e Dh. Isso justifica-se também pela constante infiltração dos corpos hídricos temporários.

Quando observado o valor de Sinuosidade (Sin), que constitui um fator controlador da velocidade de escoamento, $\text{Sin} = 1,53$, verifica-se que é classificado como corpo hídrico com poucas irregularidades segundo a classificação de Schumm (1963). Sendo os valores superiores a 2,0 estão ligados a canais tortuosos. Essa característica possibilita uma interpretação quanto ao tempo de retenção de água, assim permitindo inferir que este é próximo aos canais que tem um padrão retilíneo.

Os valores de declividade média de álveo, S1 ($0,00134 \text{ m m}^{-1}$), S2 ($0,00096 \text{ m m}^{-1}$), S3 ($0,00076 \text{ m m}^{-1}$) e S4 ($0,00107 \text{ m m}^{-1}$), possibilitam a verificação das variações da declividade no curso d'água do canal principal, o que é evidenciado pela Figura 5. O maior valor de álveo é de S1, indicando que as maiores variações de declividade estão associadas quando se considera todo o comprimento formado pelo canal principal e sua variação de altimétrica. O valor de S3 indica pouca declividade quando realizado pelo processo de setorização. Resultados semelhantes, de baixa declividade por setorização da bacia, foi identificada por Coutinho et al. (2011).

Com a observação dos mapas hipsométricos da BHRP, constata-se que índice de dissecação de um relevo e o nível de interferência nos processos erosivos são baixos. Segundo Vieira et al. (2012), estas características estão associados ao escoamento superficial das águas e diretamente relacionadas as declividades.

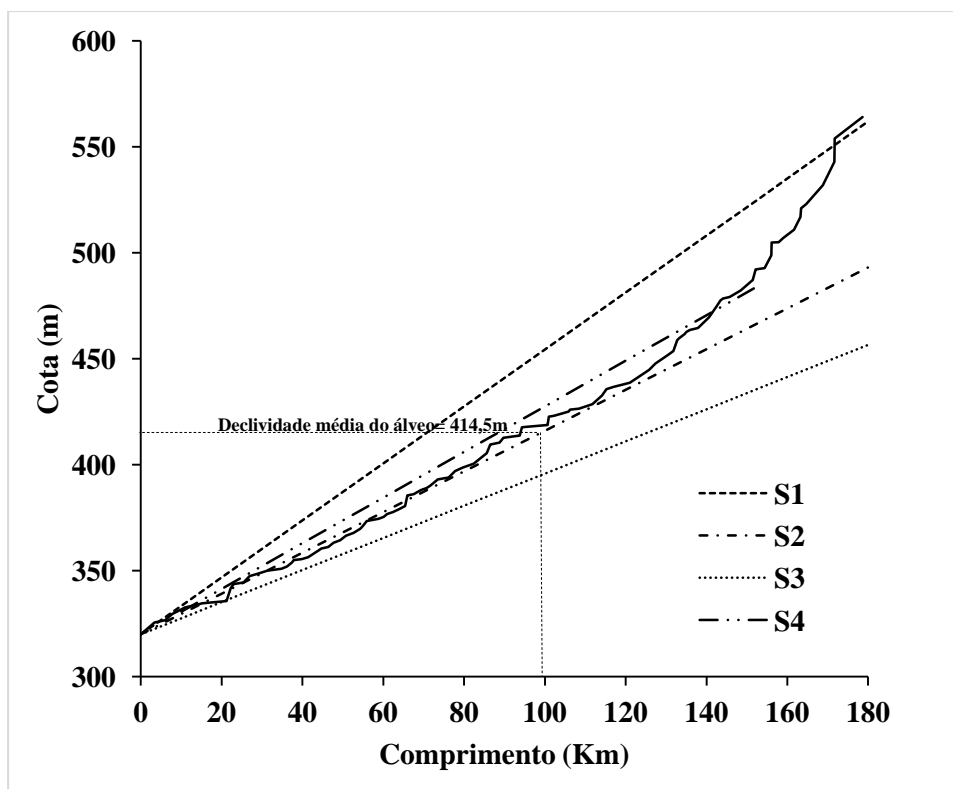


Figura 5. Representação das formas de declividade do álveo.

Em termos de índices morfométricos do relevo da BHRP, pode-se observar a caracterização na Tabela 5.

Tabela 5. Índices morfométricos de caracterização do relevo da Bacia Hidrográfica do Rio da Pontal, em Pernambuco

Características de relevo	Valor
Altitude máxima da bacia (Amab)	598 m
Altitude média da bacia (Ameb)	460 m
Altitude mínima da bacia (Amib)	358 m
Declividade máxima da bacia (Dmab)	56,4 %
Declividade média da bacia (Dmeb)	4,45 %
Declividade mínima da bacia (Dmib)	0,00 %
Índice de rugosidade (Ir)	101,70
Razão de relevo (Rr)	1,98 m m ⁻¹

A bacia possui Altitude máxima da bacia (Amab) e Altitude mínima da bacia (Amib) de 598 m e 358 m, respectivamente. Dessa maneira, o valor encontrado para a amplitude altimétrica foi de 240 m, o que indica que esta bacia possui um relevo de suave a plano. Essas características de amplitude pouco vão influenciar na quantidade de radiação que a bacia hidrográfica intercepta e por consequência na evapotranspiração, temperatura e precipitação.

Abaixa diferença entre os valores de altimetria, como os visualizados, possibilita o favorecimento do escoamento mais lento. Essas características são reforçadas pelos baixos valores encontrados para Dd e Dh da bacia. De forma similar a sub-bacia hidrográfica do Rio Poxim-Açu (Rocha et al., 2014), em condições normais de precipitação, a BHRP é pouco susceptível a enchentes e não está sujeita a inundações.

O Índice de Rugosidade foi de 101,70, permitindo inferir que a área da bacia apresenta um índice de rugosidade relativamente pequeno. Reflete as vertentes de baixa declividade e de pouca extensão com o baixo valor da densidade de drenagem.

A Razão de relevo, que estabelece a relação entre a diferença de altitudes máxima e mínima na bacia e o comprimento total do canal principal, foi de $1,98\text{m m}^{-1}$ e assim é considerada baixa de acordo com a proposta de Rodrigues e Werlang (2011). Esse índice caracteriza forma adimensional, o perigo de erosão na bacia e classifica a forma de uso apropriado da área, e para esta bacia, da mesma forma que o estudo realizado por Zanata et al. (2011), a baixa amplitude altimétrica possibilitou a visualização de baixos valores de razão de relevo, correspondendo a uma bacia com relevo suave com potencial para a agricultura segundo essa característica.

CONCLUSÕES

1. Caracterização da BHRP é um dos aspectos vitais para o planejamento de escoamento superficial e execução do desenvolvimento do Projeto do Perímetro Irrigado do Pontal, a ser instalado em um futuro breve.
2. A baixa declividade de 4,42%, permitem inferir que o solo tem uma condição favorável a uma maior infiltração da água de precipitação e menor escoamento superficial da água.
3. Os índices Kc, Ic, Kf e Dd calculados indicam que a área apresenta uma baixa tendência a enchentes.
4. Os softwares livres se mostraram uma ferramenta eficiente no que diz respeito à obtenção das características morfométricas da bacia, de uma forma simples e automatizada, podendo auxiliar na gestão e no gerenciamento dos recursos hídricos. A razão pela qual se mostra uma alternativa prática e viável é minimização custos e tempo, usando apenas dados SRTM e softwares livres.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela bolsa de mestrado concedida ao discente Iug Lopes, pertencente ao programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco. Em tempos agradecemos a esta universidade pela concessão do espaço físico para realização deste.

LITERATURA CITADA

- Christofoletti, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. *Notícia Geomorfologia*, Campinas, v.18, n.9, p.35-64, 1969.
- Coutinho, L. M.; Cecílio, R. A.; Xavier, A. L.; Zanetti, S. S.; Garcia, G. O. G. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio da Prata, Castelo, ES. *Irriga*, v.16, p.369-381, 2011.
- Elesbon, A. A. A.; Guedes, H. A. S.; Silva, D. D.; Oliveira, I. C. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus - Brasil. *Revista Escola de Minas*, Ouro Preto, v.64, n.3, p.281-288, jul./set. 2011.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – Rio de Janeiro: Embrapa, 2009. 412p.
- Falorni, G.; Teles, V.; Vivoni, E. R.; Bras, R. L. Amaratunga, K. S. Analysis and characterization of the vertical accuracy of digital elevation models from the Shuttle Radar Topography Mission. *Journal of Geophysical Research*, v.110, p.1-20, 2005.
- Fraga, M. S.; Ferreira, R. G.; Silva, F. B.; Vieira, N. A. P.; Silva, D. P.; Barros, F. M.; Martins, I. S. B. . Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Catolé Grande, Bahia, Brasil. *Nativa*, v. 2, p. 114-118, 2014.
- França, G. V. Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicadas a solos da região de Piracicaba. 1968, 151p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- Guedes, H. A. S. & Silva, D. D. Comparison between hydrographically conditioned digital elevation models in the morphometric characterization of watersheds. *Eng. Agríc.*, Oct 2012, vol.32, no.5, p.932-943.
- Gurugnanam. B; Kalaivanan. K V. Level Detailed Relief Map Preparation Using SRTM Data and GIS in Kolli Hill, Tamil Nadu, India *International Journal of Scientific Research*, Vol : 3, Issue : 9 September 2014.
- Horton R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull Geol Soc Amer* 5 : 275–370, 1945.
- Lima, W. de P. *Manejo de Bacias Hidrográficas*. Piracicaba: ESALQ. 1969. 242 p.
- Medeiros, L. C.; Ferreira, N. C.; Ferreira, L. G. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para delimitação Automática de Bacias Hidrográficas. In: *Revista Brasileira de Cartografia* nº 61. (2009).
- Miller, V. C. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area. Technical Report (1953), (3), Dept. Geology, Columbia University.
- Oliveira, P.T.S.; Sobrinho T. A.; Steffen, J. L.; Rodrigues D. B. B. Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.14, n.8, p.819–825, 2010.
- Pareta, K., Pareta, U. Quantitative Morphometric Analysis of a Yamuna Basin, India using ASTER (DEM) Data and GIS, *International Journal of Geomatics and Geosciences*, Vol. 2 (1), p. 248-269, 2011.
- Rocha, R. M.; Lucas, A. A. T.; Almeida, C. A. P.; Menezes Neto, E. L.; Aguiar Netto, A. O. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu, Sergipe, Brasil. *Rev. Ambient. Água*, vol.9, n.2, pp. 276-287, 2014.
- Rodrigues, F.; Werlang, M. K. . Avaliação do estágio de evolução do relevo em pequenas bacias hidrográficas no sudoeste do município de São Pedro do Sul, RS. *Ciência e Natura*, v. 33, p. 133-144, 2011.

- Rodriguez, E.; Morris, C. S.; Belz, J. E. A global assessment of the SRTM performance. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.72, n.3. p.249-260, 2006.
- Rennó, C. D.; Nobre, A. D.; Cuartas, L. A.; Soares, J. V.; Hodnett, M. G.; Tomasella, J.; Waterloo, M. J. HAND. A new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, v.112, p.3469-3481, 2008.
- Santos, D. B.; Vidotto, M. L.; Bertinatto, R.; Marcon, G. R. S.; Frigo, E. P. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio São José, Cascavel, PR. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava, v. 5, n. 2, p. 7-18, 2012.
- Silva, M. T.; Silva, V. P. R.; Sousa E. P.; Oliveira, S. D. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal - PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 3, p. 646-660, 2012.
- Smith, K. G. Standars for grading texture of erosional topography. *Am. J. Sci.*, 248:655-668, 1950.
- Sreedevi, P. D.; Sreekanth, P. D.; Ahmed, S.; Khan, H. H. Drainage morphometry and its influence on hydrology in an semi arid region: using SRTM data and GIS. *Environmental Earth Sciences*, v. 70, I. 2, p. 839-848, 2013.
- Strahler, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union* v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.
- Schumm, S.A. Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. *Geological Society of America Bulletin*. v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963.
- Tonello, K. C.; Dias, H. C. T.; Souza, A. L.; Ribeiro, C. A. A. S.; Leite, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões-MG. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, 2006.
- Tucci, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. 943p.

Vieira, D. M. S.; Torres, J. L. R.; Oliveira, L. M.; Gonçalves, O. R.; Oliveira, M. A. Morfometria e qualidade da água da microbacia do córrego do Sapecado, afluente do rio Uberaba. *Global Science and Technology*, v 05, n.3, p.11-22, 2012.

Zanata, M.; Pissarra, T. C. T.; Arraes, C. L.; Rodrigues, F. M.; Campos, S. Influência da escala na análise morfométrica de microbacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n. 10, p. 1062-1067, 2011.

4. CAPÍTULO 2

CARACTERIZAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DO SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PONTAL¹

Iug Lopes², Clovis Manoel Carvalho Ramos³, Brauliro Gonçalves Leal⁴, Andreza Carla
Lopes⁵

RESUMO

Nas últimas décadas as zonas rurais e urbanas passaram por uma transformação significativa. Estas mudanças têm afetado o uso da terra, principalmente nas áreas marginais às urbanas. É ao longo destas áreas onde o processo de expansão urbana e também a agropecuária que torna difícil de combinar o uso da terra. Um recurso inestimável neste contexto é o sensoriamento remoto, que aparece como de processos de transformação território. Técnicas de observação de dados adquiridos por satélites em variação temporal e espacial possuem potencial de detectar, identificar e mapear as mudanças no uso da terra. O objetivo do trabalho foi realizar uma caracterização atual do uso da terra e análise espaço-temporal das modificações ao longo dos períodos de 2000 a 2010, 2010 a 2015 e 2000 a 2015, na Bacia do Rio Pontal, usando dados Landsat Thematic Mapper (TM). De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que a região estudada passou por grandes transformações, houve um crescimento considerável de área destinada à agricultura irrigada, redução das áreas de caatinga densa ou substituição da mesma por caatinga aberta e solo exposto e por fim se observou a redução dos corpos hídricos da região.

Palavras-chave: Análise fisiográfica; QGIS; TauDEM.

MORPHOMETRIC CHARACTERIZATION BASIN PONTAL RIVER THROUGH SRTM DATA IN FREE SOFTWARE

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the morphometric characterization Pontal River Basin through the Shuttle Radar Topography Mission data (SRTM) processed in Geographic Information System (GIS) with the help of free software Quantum GIS

¹ Parte da dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola do primeiro autor. Formatação conforme Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental

² Mestrando em Engenharia Agrícola. iuglopes@hotmail.com

³ Doutor, Professor, Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Av. Antonio Carlos Magalhães, 510 Country Club, Juazeiro-BA. CEP: 48.902-300. clovis.ramos@univasf.edu.br

⁴ Doutor, Professor, Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF. Av. Antonio Carlos Magalhães, 510 Country Club, Juazeiro-BA. CEP: 48.902-300. brauliro.leal@univasf.edu.br

⁵ Graduanda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco. andreza_carlalopes@hotmail.com

(QGIS) 2.8 and Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TauDEM) V.5. The average slope was 4.45% and over 92% of the basin area had lower slopes than 8%. The basin has 6046.23 Km², considered the 6th order with drainage 0.42 Km Km⁻². He also presented form factor of 0.41 m m⁻¹, compactness and circularity coefficient of 0.72 index of 0.32, indicating that the basin has very elongated shape and therefore low risk of flooding.

Keywords: physiographic analysis; QGIS; TauDEM.

INTRODUÇÃO

Um dos mais importantes recursos naturais é a terra. O seu padrão de uso e suas distribuições espaciais são os requisitos básicos para uma estruturação política de uso da terra de modo eficaz para o planejamento e gerenciamento adequado (Kikon, 2014). Informações de cobertura da terra são importantes também para a observação e planejamento de pesquisas geoespaciais dos ambientes naturais. Em um período de tempo mais recente estão começando a ser utilizada progressivamente esse essencial método de conhecimento da Terra e aplicadas para monitoramento, melhoria e gestão dos diferentes recursos naturais.

A utilização de sistema de informação geográfica (SIG) e do sensoriamento remoto em informações temporais e espaciais tornaram-se muito importante na investigação de mudanças que verificam as expressões de superfície terra observáveis, ilustrada pela vegetação, aspectos geográficos, águas superficiais e principalmente características antropogênicas. Uma metodologia bastante utilizada na elaboração de mapas de uso e ocupação da terra é a classificação digital de imagens de sensoriamento remoto (Crósta, 1992).

Segundo Rosa (2009), o sensoriamento remoto e os sistemas de informações geográficas são instrumentos poderosos no levantamento, mapeamento e monitoramento dos recursos naturais. Através de imagens de satélites é possível ter uma visão completa da área de estudo, ter uma atualização frequente das transformações ocorridas na região ao longo dos anos e por fim se tratar de ferramentas viáveis economicamente.

Para amenizar esses problemas e alocar da melhor forma os recursos naturais, torna-se indispensável o levantamento do uso e ocupação da terra, através de informações espaço-temporais detalhadas das modificações ocorridas no ambiente (Jansen & Di Gregório, 2004; Southworth et al., 2004).

O uso da terra e seu planejamento estão diretamente interligados com a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e define que bacia hidrográfica é a unidade territorial para a operacionalização dessa política e para a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Na unidade básica de planejamento, a bacia hidrográfica, é afetada principalmente em função da ação antrópica, que com suas necessidades socioeconômicas provocam a redução da qualidade ambiental ao retirar áreas naturais e substituir por outros tipos de uso da terra, ficando a conservação do sistema em segundo plano. Mudanças de padrões climáticos, degradação dos ecossistemas e redução na disponibilidade e qualidade dos recursos naturais são algumas consequências oriundas dessa substituição Christofolletti (1980).

Segundo Mendes & Cirilo (2001), o impacto decorrente da alteração do uso da terra reflete-se em todos os componentes do ciclo hidrológico, como no escoamento superficial, na recarga dos aquíferos e na qualidade da água.

O mau uso do solo e a modificação da vegetação natural de uma Bacia Hidrográfica aliados com a ausência de políticas públicas voltadas para a conservação dos recursos naturais pode ocasionar uma perda significativa e irreversível da biodiversidade local. O levantamento do uso e ocupação do solo ao longo dos anos torna-se então o primeiro sinal de alerta para que se busque a preservação ambiental.

Desta forma, o objetivo foi realizar uma caracterização atual do uso da terra e análise espaço-temporal das modificações ao longo dos períodos de 2000 a 2010, 2010 a 2015 e 2000 a 2015, na Bacia do Rio Pontal, usando dados Landsat Thematic Mapper (TM).

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

A Bacia do Rio Pontal (Figura 1) está localizada no extremo oeste do Estado de Pernambuco, entre 08°20'00" e 09°13'40" de latitude sul, e 40°11'24" e 41°20'53" de longitude oeste, abrangendo parte dos municípios de Petrolina, Afrânio, Dormentes e Lagoa Grande. Tem uma área de drenagem de 6046,00 km², 178,62km de comprimento do curso d'água principal e a sua foz é no lado esquerdo do Rio São Francisco. O curso do Rio Pontal tem a direção no sentido noroeste-sudeste.

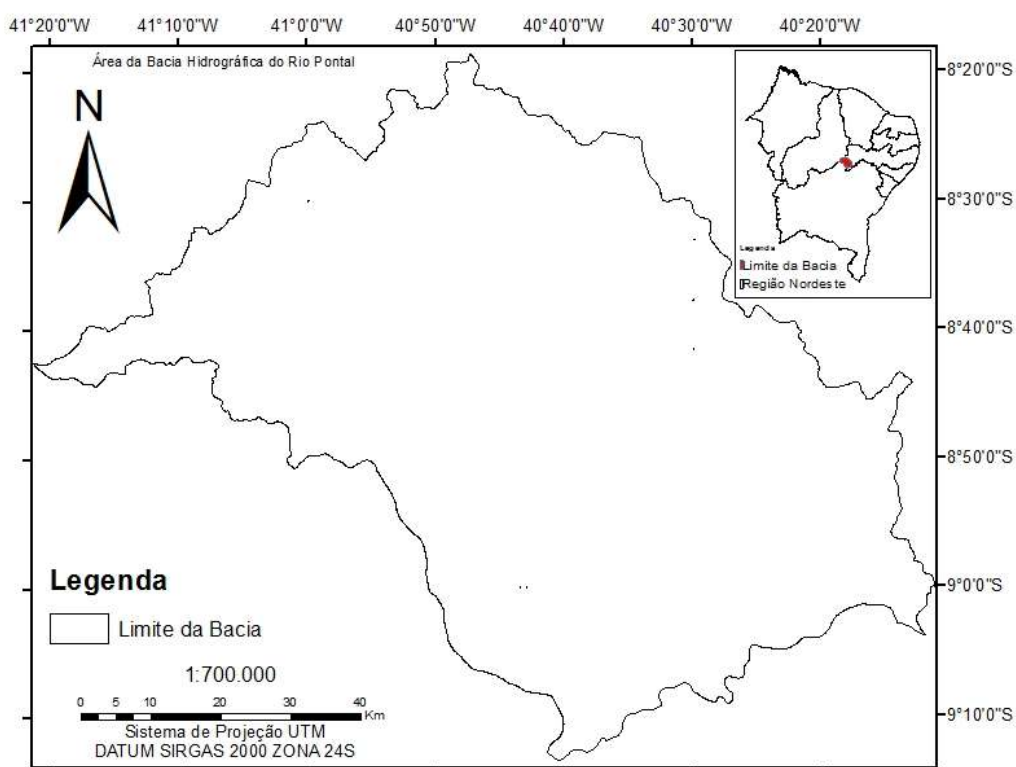


Figura 1. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio do Pontal-PE.

Dentre os cursos d'água que compõem a Bacia do Pontal, os principais são: os riachos Caieira, Sítio Novo, Terra Nova e Simão (pela margem direita) e os riachos do Caboclo, Caldeirão, Dormente, Baixo, Areial e Serra Branca (pela margem esquerda) (CODEVASF, 2016).

A região está inserida em uma classificação climática de Semiárido quente (BSwh'), apresentando uma precipitação pluviométrica média anual é de 557,7 mm, com concentração das chuvas de dezembro a março. A região tem uma alta insolação e baixa

umidade relativa do ar. O período seco é predominante, com cerca de 6 a 8 meses (BRASIL, 2004).

A vegetação é do tipo Caatinga e classificada como Savana Estépica Arborizada, alguns trechos de caatinga arbustiva estão associados a alguma ação antrópica anterior (GALVINCIO et al., 2006).

Bacia possui as classes de solos como Latossolo Vermelho-Amarelo Eutroficados, Argilossolos Vermelho-Amarelo Eutroficados, Luvisolos Cromicos Palicos, Luvisolos Cromicos Orticos, Planossolos Haplicos Eutroficados e Neossolos Litólicos Eutroficados (EMBRAPA, 2009).

Classificação do uso do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal

Inicialmente, com o conhecimento da delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Pontal (BHRP), permitiu a localização da área e assim possibilitando a captação de imagens de satélite disponibilizadas pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, dos satélites Landsat 5 e 8, foi possível a classificação do uso da terra para a região da bacia do Pontal.

Para abranger a totalidade a área do estudo em questão, foram utilizadas duas imagens, correspondentes às órbitas 217 e 218, ponto 066. Foram feitos 3 mosaicos temporais com as imagens de satélite captadas nas seguintes datas: 15/10/1999 e 17/09/1999 (Landsat 5), denominado de mosaico do ano 2000; 01/10/2009 e 24/09/2009 (Landsat 5), denominado de mosaico do ano 2010; e 25/08/2015 e 27/07/2015 (Landsat 8), denominado de mosaico do ano 2015. Estas datas coincidem com no final do período de estiagem da região. As imagens têm uma resolução espacial de 30 metros por pixel e foram trabalhadas na escala de 1:100.000.

O processamento digital das imagens (PDI) de satélite foi realizado com o auxílio do software ArcGis 10.3 versão experimental, sendo elaboradas composições coloridas falsa-cor (RGB), por meio de técnicas de PDI, para tratamento de imagens. Esta técnica consisti da seleção de três bandas e a cada uma delas foi atribuído uma das cores primárias RGB (vermelho, verde e azul), bem como o ajuste do histograma para realçar o contraste visual (RODRIGUES et al., 2004). Assim, para o sensor Thematic Mapper do Landsat, definiu-se as composições TM (Vermelho=R), TM4 (Verde=G) e TM3 (Azul=B) (Figura 2).

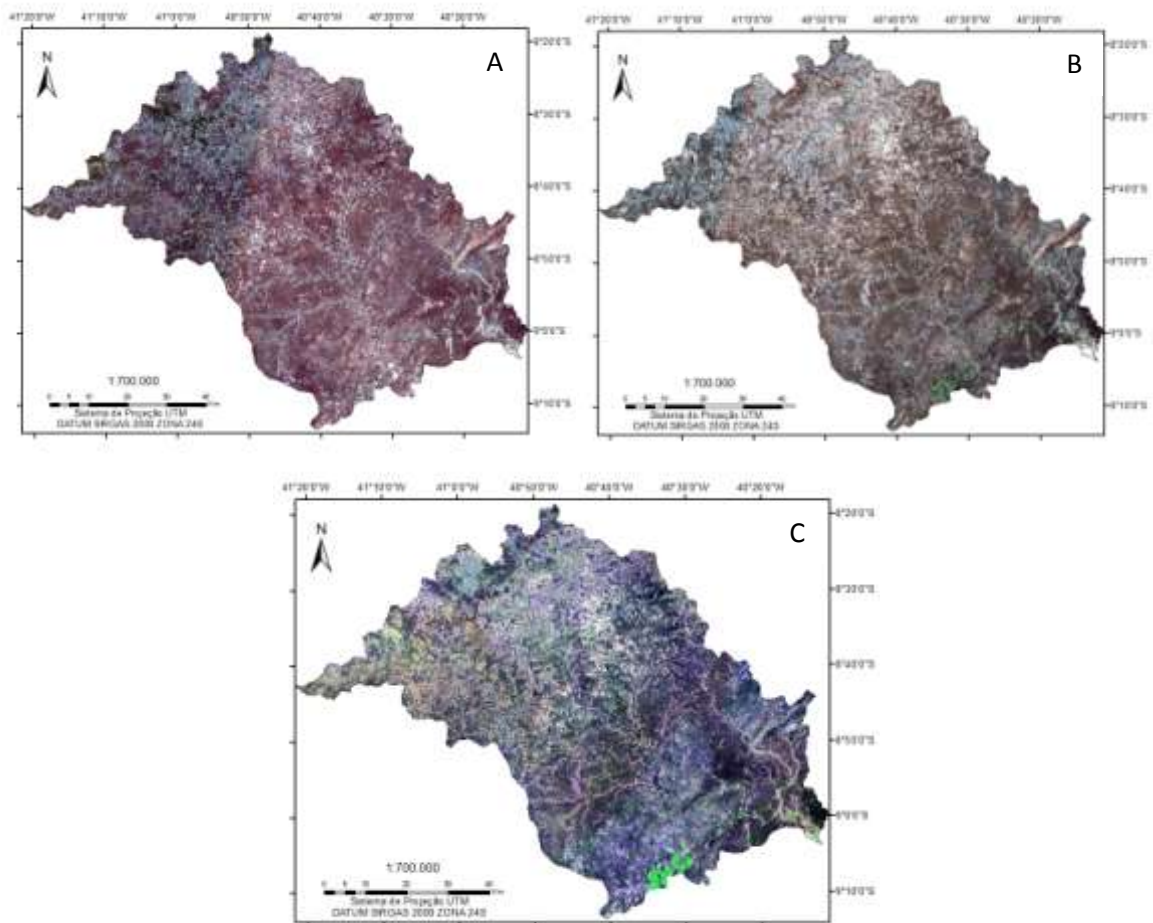


Figura 2. Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio do Pontal-PE referente aos anos 2000 (A), 2010 (B) e 2015 (C).

A utilização das imagens de satélite foi através da montagem dos mosaicos, com a união das duas imagens e em posteriormente extraído com o *shape* do limite da Bacia.

De posse dos mosaicos da BHRP, iniciou-se a classificação de uso do solo. O processo inicialmente foi de forma não supervisionada, onde foi solicitado 20 classes. Posteriormente foram realizadas algumas intervenções que se fizeram necessárias para caracterizar duas macro-classes, sendo denominadas Áreas Antropizadas e Áreas Naturais. As micro-classes escolhidas foram semelhantes às de Namdar (et al., 2014), que classificou áreas semi-áridas e sendo descritas e caracterizadas na Tabela 1.

Tabela 1. Macroclasses, microclasses e suas caracterizações na classificação de uso da terra da BHRP.

Macro-classes	Micro-classes	Caracterização
Área Antropizada	Solo Descoberto	Compreende áreas expostas, estradas e também áreas urbanizadas.
Área Antropizada	Agricultura Irrigada	Áreas antropizadas, ocupadas com qualquer tipo de cultura irrigada.
Área Natural	Água Superficial	Engloba todos os corpos hídricos (rios, açudes e lagos).
Área Natural	Caatinga Densa	Área onde predomina a Savana Estépica (Caatinga) Florestada.
Área Natural	Caatinga Aberta	Área de Savana Estépica (Caatinga) Arbustiva.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interpretação visual da imagem de satélite foi com o conhecimento de áreas na bacia e assim subsidiaram as informações utilizadas para classificação não-supervisionada, com intervenções. O trabalho de intervenção na classificação não-supervisionada relacionou os pixels classificados da imagem a uma determinada classe de uso da terra.

Quando analisado as imagens Landsat/TM, foi observado dificuldades em distinguir a identificação do uso da terra em centros urbanos e em solo descoberto, pois são de difícil discriminação, apresentando-se confusas no momento da interpretação, devido suas tonalidades serem bastante semelhantes. Dessa maneira centros urbanos foram agrupados como solo descoberto, por serem pequenos tamanhos.

De acordo com a distribuição das classes de uso da terra identificadas na Bacia Hidrográfica do Rio Pontal (BHRP), a sua caracterização de uso atual, ano de 2015, é apresentada na figura 3.

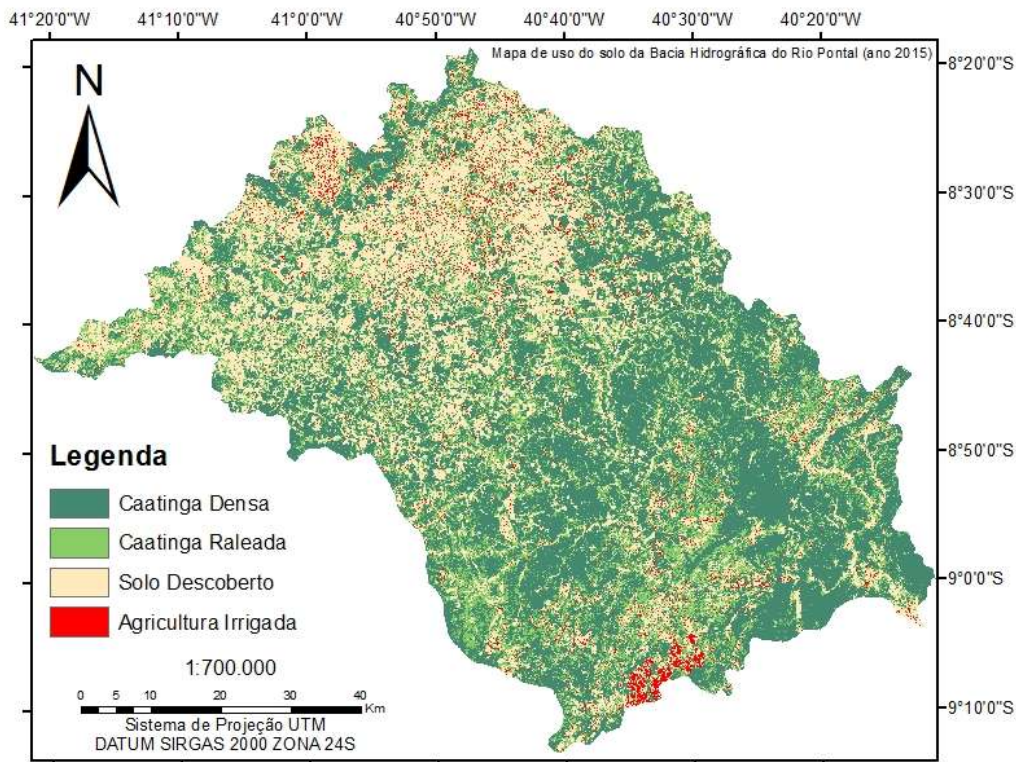


Figura 3. Mapa das classes de uso da terra da BHRP no ano 2015.

Os dados quantitativos da caracterização do ano de 2015 podem ser observados na tabela 2.

Tabela 1. Macroclasses, microclasses e suas caracterizações na classificação de uso da terra da BHRP

Micro-classes	km ²	%
Água Superficial	0,00	0,00
Caatinga Densa	834,68	13,81
Caatinga Aberta	2983,76	49,35
Agricultura Irrigada	988,61	16,35
Solo Descoberto	1238,95	20,49

Essa bacia é uma sub-bacia do Rio São Francisco e possui um destaque econômico para a agricultura irrigada, que corresponde a 16,35 % do uso da terra. Apesar dessa importância econômica, observa-se uma contradição, uma vez que não foi possível a observação observar de água superficial na BHRP. Boa parte da área irrigada no sul da bacia é realizada com água captada no Rio São Francisco e chega a bacia através de canais do Perímetro Maria Teresa e do Perímetro Pontal Sul. Nas áreas classificadas como irrigadas, na área norte da BHRP, podem ser agricultura irrigada de salvação com água de pequenos açudes ou de poços.

Como a sua situação atual, também se faz necessário o estudo anos anteriores nas classes de áreas antropizadas e áreas naturais para entender a mudança da terra ao longo do tempo e se estão refletindo na configuração da paisagem das bacias hidrográficas. Assim na Figura 3 consta a variação temporal, na forma quantitativa, em área em % e em Km².

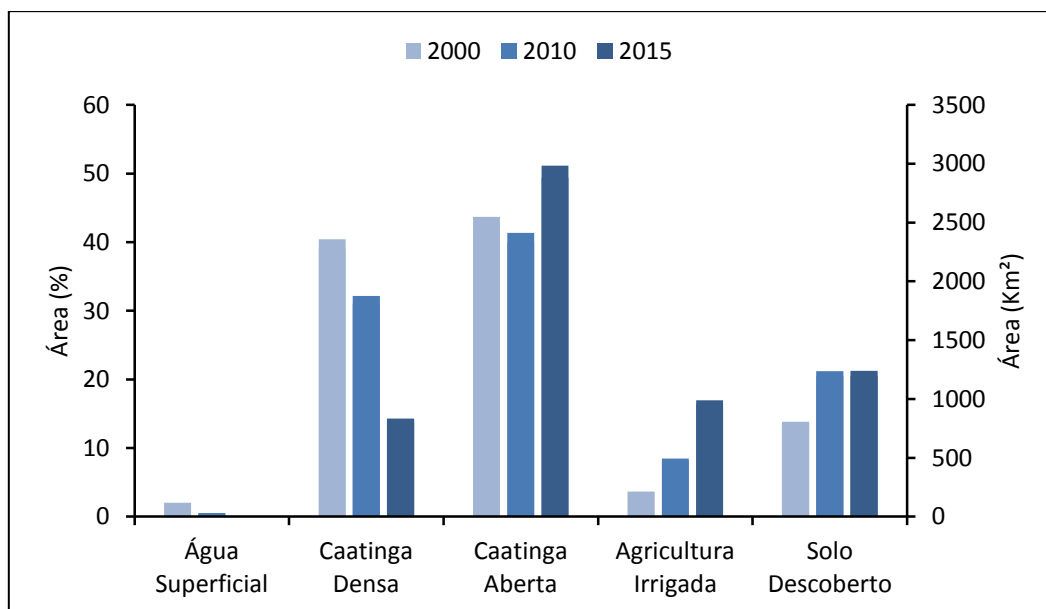


Figura 4. Área de usos das classes de uso da terra da BHRP nos anos de 2000, 2010 e 2015, em % e Km².

No ano de 2000 (Figura 5) a BHRP possuía em sua maior área a presença da Caatinga, que com a aberta e a densa correspondiam a próximo de 80%. A agricultura irrigada correspondia a uma das menores classes, com 3,54%. Essa caracterização da bacia assemelhou-se a classificação de uso da terra para todo o Submédio São Francisco, realizado por CODEVASF (2000), onde foi observado que mais de 70% dessa área encontram-se cobertos por caatinga em diferentes estágios de conservação. Além da agricultura irrigada que apresentou 2,79%, sendo caracterizado pelo autor como os perímetros públicos de irrigação e as propriedades privadas de qualquer porte e com diferentes estágios tecnológicos.

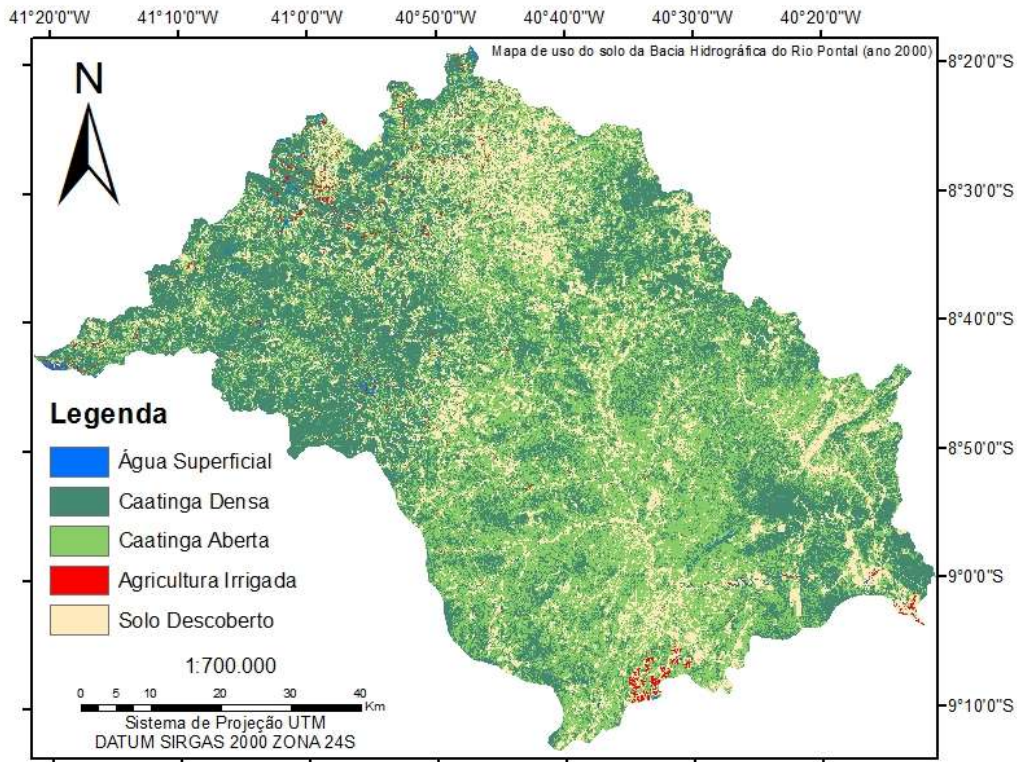


Figura 5. Mapa das classes de uso da terra da BHRP no ano 2000.

Quando observado os dados do ano de 2010 (Figura 6), tem-se um destaque para modificações de padrões quantitativos da agricultura irrigada e na Caatinga densa, sendo, respectivamente 8,14% e 31,03% da área. Quando comparados com estudos realizados por Silva (et al., 2012) no ano de 2011, para a mesma área, constata-se mudanças siginificativa nos percentuais encontrados, sendo que os autores relataram que a bacia possuía 11,04% de caatinga densa, 55,89 de caatinga densa degradada e 23,37% de cultivos diversificados, totalizando cerca de 90,4% da área correspondente a da área total da bacia, além dos cultivos irrigados, que são encontrados em sua maior parte no sul da bacia, representando menos de 1% da área total.

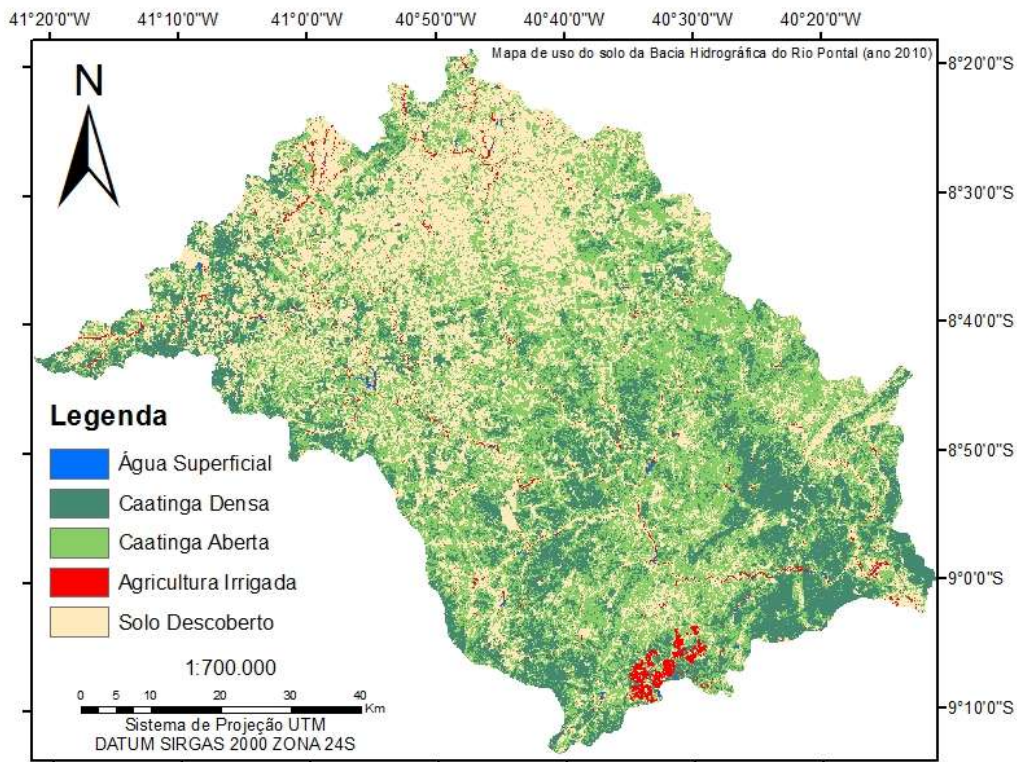


Figura 6. Mapa das classes de uso da terra da BHRP no ano 2010.

Quando estudado a variação espaço-temporal, pode-se observar transformações do uso da terra da BHRP. Na Figura 7 observa-se as variações em relação a três períodos, sendo de 2000 a 2010, de 2010 a 2015 e de 2000 a 2015. A transformação da terra na BHRP está sendo verificada e os principais impulsionadores da mudança no uso da terra são a cobertura vegetal, pela Caatinga densa, e a produtividade agrícola, pela agricultura irrigada. Esses resultados são indicadores de que as áreas estão com vegetação bastante rala ou sem vegetação, característica que já são endêmicas do semiárido brasileiro, principalmente em períodos secos (RODRIGUES et al., 2004).

Durante 15 anos, houve um crescimento considerável na agricultura irrigada e no solo descoberto, fatos estes que podem estar interligados, sendo o desmatamento a primeira fase na implantação de uma irrigação em uma área natural. Com relação a água superficial, por ser tratar de períodos secos, alguns pequenos corpos d'água não foram mapeados segundo a escala de trabalho (1:100.000).

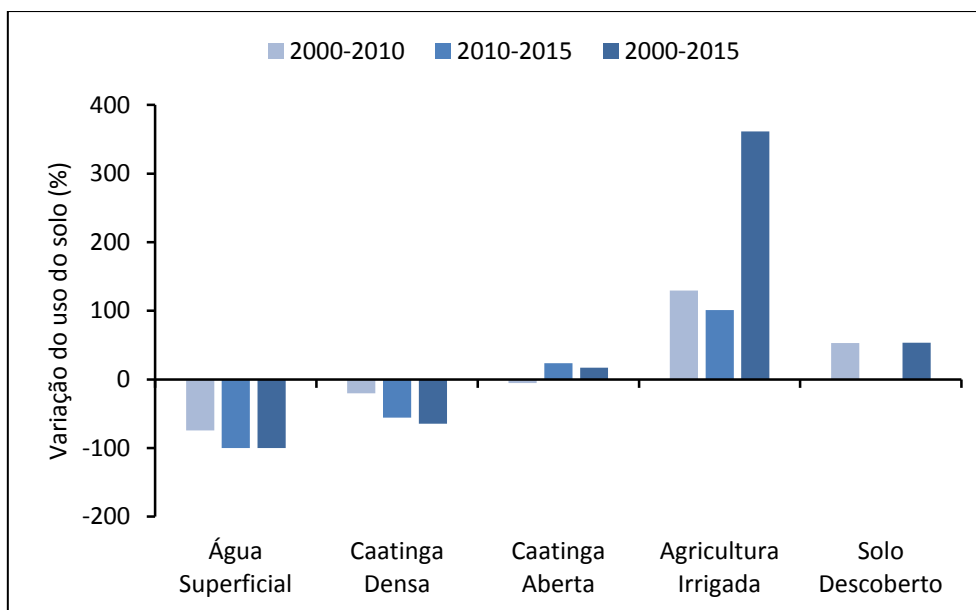


Figura 7. Variação dos usos das classes de uso da terra da BHRP nos períodos de 2000 a 2010, de 2010 a 2015 e de 2000 a 2015, em %.

Um dos resultados que possui destaque é a água superficial, cujo na verificação do ano de 2015 não foi possível observar nenhum quantitativo de área, ocorrendo uma redução de 100% do observado no primeiro ano de avaliação. Essa redução pode estar associada ao aumento do seu uso na irrigação que teve um aumento de mais de 300% nos últimos 15 anos, ou relacionada a período de escassez que a BHRP pode estar passando, sendo descrito por Lopes et al. (2015), que estudou a distribuição anual de chuvas em uma estação localizada na bacia, e observou que nos 5 anos anteriores ao de 2000 foram um muito chuvoso (MC), um chuvoso (C), dois normais (N) e um seco (S). Para os anteriores de 2010 foram um C, dois N, um S e dois muito seco (MS). Já para os anteriores de 2015 foram um N, dois S e dois MS. Assim a junção dos dois fatores potencializam a elevação do uso de água dos corpos hídricos que estão inseridos na BHRP.

CONCLUSÕES

1. As transformações no uso da terra da BHRP estão sendo impulsionadas pela mudança na cobertura vegetal, pela Caatinga densa, e a área antropizada, pela agricultura irrigada.
2. A agricultura irrigada, que teve uma grande ascendência, atualmente corresponde a 16,35 % do uso da terra.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela bolsa de mestrado concedida ao discente Iug Lopes, pertencente ao programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco. Em tempos agradecemos a esta universidade pela concessão do espaço físico para realização deste.

LITERATURA CITADA

BRASIL. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco. Subprojeto 4.5C– Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco-PBHSF (2004-2013). 2004.

BRASIL. ANA/GEF/PNUMA/OEA. Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na Bacia do São Francisco. Subprojeto 4.5C– Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco-PBHSF (2004-2013). 2004.

Brasil. Lei Federal n. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

BRASIL. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL / CODEVASF - Estudo de Impacto Ambiental – Projeto Pontal Norte. Projotec. Volume 1, estudos preliminares, Brasil, 2007b.

Christofolletti, A. Geomorfologia. 2ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1980.

CODEVASF - Estudo de Impacto Ambiental – Projeto Pontal Norte. Projotec. Volume 1, estudos preliminares, Brasil, 2007.

CODEVASF. Mapeamento temático de uso da terra no Submédio São Francisco. (Subprojeto 2.1). JUNQUEIRA, R.A.C. (coordenador). In: Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco - ANA/GEF/PNUMA/OEA. Brasília. 65p., 2000.

Crósta, A.P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1992.

EMBRAPA. Sistema de classificação de solos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Brasília, DF: Embrapa Solos, 2009. 627p.

Feltran Filho, A. F.; Lima S. C.; Rosa R. Mapeamento do uso do solo no município de Uberlândia – MG, através de imagens TM/LANDSAT. 1989.

Galvêncio, J. D.; Sousa, F. A. S.; Shirinivasan, V.S. 2006. Balanço hídrico à superfície da bacia hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Rio Grande do Sul. v. 11, n. 03, p. 135-146.

Jansen, L.J.M.; Di Gregório, A. Obtaining land-use information from a remotely sensed land cover map: Results from a case study in Lebanon. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v.5, 2004.

Kikon, N.; Singh, P. Temporal Analysis of Land use Pattern Changes of Noida, NCR Using Geospatial Tools, 15th Esri India User Conference, 2014.

Mendes, C. A. B.; Cirilo, J.A. Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação. Porto Alegre: ABRH, 2001. 536 p.

Namdar, M.; Adamowski, J.; Saadat, H.; Sharifi, F.; Khiri, A. (2014). Land-use and land-cover classification in semi-arid regions using independent component analysis (ICA) and expert classification. International Journal of Remote Sensing, 35(24), 8057-8073.

Prafull Singh, J. K., Thakur, S., Kumar, UCSingh, “Using Geospatial Techniques in a Semi-arid Region of Madhya Pradesh, India”, Geospatial Techniques for Managing Environmental Resources, Springer, 2012, pp 152-163.

Rodrigues, E.; Cainzos, R. L. P.; Queiroga, J.; Herrmann, B. C. Conservação em paisagens fragmentadas. In: CULLEN JR. L. RUDRAN, R.; VALLADARES-PUDUA. C. (Org.). Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre. Curitiba: UFPR/Fundação o Boticário de Proteção à Natureza, 2004 p. 481-511.

Rosa, R. Introdução ao sensoriamento remoto. 7ªed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

Silva M. T., Silva V. P. R., Sousa E. S., Oliveira S. O. Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal – PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 2012; 5(3):646-660.

Southworth, J., Munroe, D.; Nagendra, H. Land cover and landscape fragmentation-comparing the utility of continuous and discrete analyses for a western Honduras region. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2004.

3. CONCLUSÃO GERAL

Através do presente estudo pode-se concluir que:

- Caracterização da BHRP é um dos aspectos vitais para o planejamento de escoamento superficial e execução do desenvolvimento do Projeto do Perímetro Irrigado do Pontal, a ser instalado em um futuro breve.
- A baixa declividade de 4,42%, permitem inferir que o solo tem uma condição favorável a uma maior infiltração da água de precipitação e menor escoamento superficial da água.
- Os índices Kc, Ic, Kf e Dd calculados indicam que a área apresenta uma baixa tendência a enchentes.
- Os softwares livres se mostraram uma ferramenta eficiente no que diz respeito à obtenção das características morfométricas da bacia, de uma forma simples e automatizada, podendo auxiliar na gestão e no gerenciamento dos recursos hídricos. A razão pela qual se mostra uma alternativa prática e viável é minimização custos e tempo, usando apenas dados SRTM e softwares livres.
- As transformações no uso da terra da BHRP estão sendo impulsionadas pela mudança na cobertura vegetal, pela Caatinga densa, e a área antropizada, pela agricultura irrigada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. Q. **Influência do desmatamento na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do córrego do Galo, Domingos Martins, ES.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Espírito Santo Vitória, UFES, 2007, p.92

Agência Nacional das Águas - ANA. **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil.** Brasília: ANA, 2002.

BARRELLA, W.; PETRERE JR., M.; SMITH, W.S.; MONTAG, L.F.A. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R. & LEITÃO FILHO, H.F. **Matas ciliares: Conservação e recuperação.** EDUSP, 2ª ed., São Paulo, p.187-207, 2001.

BRASIL. Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Capítulo II, artigo 21, incisos XII e XIX.

BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; MOURA, M. S. B.; CAVALCANTI, N. B. Características físicas e agroclimáticas de açudes da microbacia do Riacho Pontal em Petrolina, PE. **8º Simpósio Brasileiro de Captação E Manejo De Água de Chuva.** Campina Grande-PB, 2012.

CALIL, P. M. potencial de uso por atributos morfométricos dos solos da bacia hidrográfica do alto Meia Ponte, Goiás. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás. 113p, 2009.

CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; SOARES, C.P.B.; MARTINS, S.V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CRISPIM, A. B. **Sistemas Ambientais e Vulnerabilidades ao Uso da Terra no Vale do Rio Pacoti - Ce: Subsídios ao Ordenamento Territorial**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, Ceará, 201p., 2011.

FADEL, A. W.; CAMPOS, H. A. **Gestão urbano-metropolitana com base em bacias hidrográficas: uma experiência interinstitucional entre Porto Alegre e Viamão (RS)**. In: XV Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, 2013, Recife. Anais do XV Enanpur, 2013.

GARBRECHT, J., MARTZ, L. W. **Digital elevation model issues in water resources modeling**. ESRI, USERS CONFERENCE, 19., 1999, San Diego. *Proceedings...* San Diego: 1999. CD-ROM.

HOLLANDA, M. P.; CAMPANHARO, W. A.; CECÍLIO, R. A. Manejo de Bacias Hidrográficas e a Gestão Sustentável dos Recursos Naturais. In: MARTINS, L.D.; HANNAS, T.R.; VENTURA, R.C.M.O.; ALVIM-HANNAS, A.K.; MENDONÇA, J.A.; FÚCIO, L.H.; LONGO, L.B.F.; LAMAS, L.P.A.; SILVA, L.B.; FURTADO, L.B.; COSTA, M.O.; SILVA, R.C.S. Atualidades em desenvolvimento sustentável. Manhuaçu: FACIG, 2012, v. 1, p. 57-66.

IGBP. Biosphere Aspects of the Hydrological Cycle. **The International Geosphere-Biosphere Programme: A Study of Global Change**, Report n.27. Estocolmo, 103p.

MINISTÉRIO DE MEIO AMBIENTE-MMA. **Programa de Revitalização de Bacias Hidrográficas**, 2015.

OLIVEIRA NETO, C.A.; PEREIRA L. A.; TAURA T. A.; BRITO L. T. L.; MELO, R.F. **Caracterização morfométrica da área de drenagem de cinco açudes a**

partir de técnicas de sensoriamento remoto. EMBRAPA. 11-Nov-2011, pag 41-47.

PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E. Bacias Hidrográficas - Integração entre meio ambiente e desenvolvimento. **Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 110, p. 40- 45, 1995.

PISSARRA, T. C.; POLITANO, W. A bacia hidrográfica no contexto do uso do solo com florestas. IN: VALERI, Sérgio Valiengo. et al. (Ed.). **Manejo e recuperação florestal: legislação, uso da água e sistemas agroflorestais.** Jaboticabal: Funep. p. 29-54, 2003.

POLITANO, W.; PISSARRA, T.C.T. Relações entre características morfológicas quantitativas e estimativas da vazão em função da área em microbacias hidrográficas de 2ª ordem de magnitude. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.23, p.179-186, 2003.

RAMOS, C. M. C. **Variabilidade espacial e temporal de fatores edafoclimáticos na Bacia do Rio Pontal, Pernambuco.** 2012. 68f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, São Paulo, 2012.

SBPC. **Água: abundância e escassez.** Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/site/noticias/detalhe.php>. Acesso em: 26 mar. 2015.

SILVA, M.T. SILVA, V.P.R.; SOUSA, E.P.; OLIVEIRA, S. D. referência Análise de Risco de Degradação na Bacia Hidrográfica do Riacho do Pontal - PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Brasília, n.03, p.646-660, 2012.

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

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004. 943p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente. SQA. – Brasília: MMA, 2006.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.2, n.1, p.135-152, 1997.

WORD VISION. **Manual de Manejo de Cuencas**. 2ª. Edición. Coordinador General: Ing. Carlos Gómez. Visión Mundial El Salvador. San Salvador. 2004. 154p.