



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FELIPE GOMES BRASILEIRO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E AMBIENTAL NAS IMEDIAÇÕES DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO QUIXERAMOBIM, CEARÁ, BRASIL**

Prof. Dr. RAFAEL COLL DELGADO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO – 2015



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

FELIPE GOMES BRASILEIRO

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E AMBIENTAL NAS IMEDIAÇÕES DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO QUIXERAMOBIM, CEARÁ, BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. RAFAEL COLL DELGADO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
DEZEMBRO – 2015

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E AMBIENTAL NAS IMEDIAÇÕES DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO QUIXERAMOBIM, CEARÁ, BRASIL**

FELIPE GOMES BRASILEIRO

Monografia aprovada em _____ de dezembro de 2015.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rafael Coll Delgado – UFRRJ
Orientador

Roberto Diego Bezerra dos Santos – UFRRJ
Membro

Carlos Magno Moreira de Oliveira – UFRRJ
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus,
a meu pai Sorahito Braga Brasileiro (*IN MEMORIA*) e
a meu avô materno, José Gomes do Nascimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força de vontade, discernimento, sabedoria, proteção e saúde, simplesmente por me amar.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pelas emoções, comoções, alegrias e distrações que tive durante minhas duas graduações (Licenciatura em Ciências Agrícolas e Bacharelado em Engenharia Florestal) e por proporcionar-me um ensino público de qualidade.

Ao Instituto de Educação (IE) e ao Instituto de Florestas (IF) por terem feito parte de minha história acadêmicas, social e profissional de 2007.I a 2015.II.

A Flora Jr. – Empresa Júnior de Engenharia Florestal da UFRRJ pelo aprendizado, amizades e pelo espaço de convivência empreendedora que ela pôde me oferecer por mais de dois anos como gerente de projetos.

Aos professores do Departamento de Botânica da UFRRJ, principalmente: Marilena de Menezes Silva Conde, Pedro Germano Filho e Denise Monte Braz pelas sinceras amizades, orientações sobre o magnífico universo da Botânica que me abriu tantas portas e oportunidades profissionais.

Ao professor Rafael Coll Delgado (Departamento de Ciências Ambientais, IF, UFRRJ) pela amizade sincera que muitas vezes extrapolavam com a responsabilidade de professor, de pai, de irmão mais velho. Agradeço a você Gaúcho, por ter acreditado, investido e abraçado com vigor o meu eterno sonho de poder de alguma forma contribuir utilizando Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento com o desenvolvimento do Bioma Caatinga, em especial do Sertão Cearense de Quixeramobim.

Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto Ambiental e Climatologia Aplicada – LSRACA, por ter feito parte de sua história desde os primeiros pensamentos de sua criação em 2012, juntamente com o Dr. Prof. Rafael Coll Delgado e o Msc Roberto Diego Bezerra dos Santos, quando ainda éramos apenas três “malucos sonhadores” sentados, espremidos e diariamente sendo “expulsos” da pequena sala apertada que nunca foi sua de verdade professor Rafael, nem nossa. Hoje, o LSRACA é um sonho realizado crescendo, se desenvolvendo em que nós alunos, não mais nos sentimos “estranhos” em nosso espaço de trabalho e compromisso com o dinheiro público. Agradeço ao meu amigo e grande parceiro Roberto Diego Bezerra dos Santos por ter acreditado em mim quando decidiu, acreditando no meu potencial, me apresentar ao então recém chegado Gaúcho de Pelotas do Instituto de Florestas. Agradeço ao amigo, parceiro e Msc Carlos Magno Moreira de Oliveira “Magneto”, pelas fundamentais contribuições para a realização desse trabalho.

Ao professor Hugo Barbosa Amorim (Departamento de Silvicultura, IF, UFRRJ), pela forte e sincera amizade, por acreditar em meu potencial, por sempre depositar esperança e acreditando fielmente que minha escolha de querer atuar profissionalmente no meu estado de origem (Ceará), será a coisa certa. Agradeço a você “Hugão”, pelo privilégio e o prazer em poder ir a campo profissionalmente com você e pelas oportunidades de inserção no mercado de trabalho da consultoria ambiental pelo Inventário Florestal.

Ao professor Francisco José de Barros Cavalcanti (Departamento de Silvicultura, IF, UFRRJ), por em apenas um período letivo, com uma única disciplina ministrada (Extração. Colheita e Transporte Florestal), conseguir acentuar mais ainda com vigor em mim, a escolha da profissão certa. Agradeço a você “Chico” pela atenção, dedicação e amor a Engenharia Florestal e a vida profissional nas conversas dentro e fora de sala de aula. Feliz o Ruralino Florestal que tem a honra de poder conversar com você antes de pegar o diploma e deixar a Mãe UFRRJ.

A minha família, pelas orações e votos de confiança; pelas saudades, choros e alegrias de minhas chegadas em casa de férias com os devidos festejos; aos anos de investimentos

financeiros; aos abraços, cheiros e beijos amorosos; ao amor e dedicação de todos pelo meu sucesso.

As minhas mães: Antonizete, Dona Fransquinha (minha vó) e Cida (Tia Cida do thriller da UFRRJ), pelos cuidados, puxões de orelhas, pelo eterno amor de todos os dias e pela confiança de minha índole construída em parte por vocês. Ao meu irmão, o Msc. Veterinário Lucas Santiago Gomes Brasileiro pela apoio, amizade e dedicação aos anos que convivemos juntos no alojamento masculino da UFRRJ “Cobertura M4 – Acima de Nós, só Deus”.

A “Cobertura M4 – Acima de Nós, só Deus”, por ter sido meu lar desde 2007. I até esta data, por ter sido o melhor lugar que já vivi em toda minha vida, por ter me proporcionado respeito ao próximo, amor aos irmãos de tantos lugares do Brasil e do mundo que lá conviveram e me aturaram, pelos “rangos” de semana em época de greve e fins de semana com e sem greve. Por todos os IRMÃOS e IRMÃS que viveram comigo nos apartamentos da cobertura: 47 (onde moro atualmente), 48, 49, 431, 432, 433, 434, 435 e 436 (onde morei) e 437. Agradeço aos irmãos de nos deixaram fisicamente mas que espiritualmente jamais! *IN MEMORIA*: Sergio Moura (“Serjão”) e Jander (“Janda da Biuuulogia”).

Agradeço a todos que acreditaram nesse Quixeramobinense desde a primeira graduação até o presente sonho de defender uma monografia de segunda graduação sobre minha terra natal.

RESUMO

A Região Nordeste do Brasil apresenta limitações hídricas pelas condições climáticas intensificadas pelas ações antrópicas, essas condições levantam discussões sobre tomadas de decisão de gestão territorial e de recursos hídricos em regiões semiáridas. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar ambientalmente e fisicamente as imediações da bacia hidrográfica do Rio Quixeramobim, Ceará – Brasil (BHRQ). Para a caracterização ambiental, foram utilizadas imagens Landsat 8 de 30 m de resolução espacial na aplicação de técnicas de classificação supervisionada pelo algoritmo Máximo Verossimilhança (MAXVER), subsidiada pelos dados de campo provenientes de GPS. Na caracterização da física da bacia, foram utilizadas imagens Topodata de 30 m de resolução para gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia. Os resultados obtidos pela caracterização ambiental das feições de uso e ocupação do solo foi considerado pelo índice Kappa como Razoável pelo valor de 30% (0.3035) para as feições (área urbana, solo exposto, pastagem, caatinga e água) da área de estudo. Para os resultados da caracterização física da bacia, foram gerados valores dos parâmetros hidrológicos (área, altitude maior, altitude menor, altitude média, perímetro, comprimento do maior eixo, comprimento de todos os canais, número de drenos, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade e a densidade de drenagem), A BHRQ não apresenta riscos de enchentes em condições normais de precipitação para a região do Sertão Central do Ceará. As características ambientais e físicas da bacia são importantes ferramentas de gestão territorial urbana e rural, servindo como auxílio para tomadas de decisão pelos órgãos, entidades, parceiras públicas e privadas responsáveis em fomentar políticas de planejamento ambiental no estado e na Região do Sertão Central Cearense.

Palavra – chave: Semiárido cearense, monitoramento orbital terrestre, gestão hídricos.

ABSTRACT

Brazil's Northeast region presents water limitations by weather conditions intensified by human activities, these conditions raise discussions taken from water resources management decision in semiarid regions. This study aimed to environmentally and physically characterize the vicinity of the basin of the Rio Quixeramobim, Ceará - Brazil (BHRQ). For environmental characterization were used Landsat 8 of 30 m spatial resolution in applying classification techniques supervised by the algorithm Maximum Likelihood (MAXVER), supported by field data from GPS. The characterization of physics bowl, were used TOPODATA images of 30m resolution for generating the digital elevation model (DEM) of the basin. The results for the environmental characterization of the use of features and occupation was considered by the Kappa index as Reasonable for the amount of 30% (0.3035) for the features (urban area, exposed soil, grassland, savanna and water) of the study area. For the results of the physical characterization of the bowl were generated values of hydrological parameters (area, higher altitude, the lower elevation, middle elevation, perimeter, major axis length, length of all channels, the number of drains, compactness coefficient factor shape, circularity ratio and drainage density), The BHRQ presents no risk of flooding under normal rainfall conditions for the Ceará Central Wilderness area. Environmental and physical characteristics of the basin are important tools for urban and rural land management, serving as an aid to decision-making by the organs, agencies, public partners and private responsibility in promoting environmental policy planning in the State and the Region of the Wild Center Cearense.

Keywords: semiarid cearense, Earth orbital monitoring, water management.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	2
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICO	2
3. REVISÃO DE LITERATURA	3
3.1. Influência da mudança da paisagem no clima.....	3
3.2. Plataformas orbitais e uso da terra	3
3.3. Algoritmo da máxima verossimilhança.....	4
3.4. Uso do sensoriamento remoto em bacias hidrográficas	5
4. MATERIAL E MÉTODOS	6
4.1. Definição da área de estudo	6
4.2. Técnicas de Sensoriamento Remoto Orbital	7
4.3. Coleta de campo com uso do GPS (<i>Global Positioning System</i>).....	8
4.4. Classificação Supervisionada	9
4.5. Regra de decisão do algoritmo	10
4.6. Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Quixeramobim (BHRQ).....	11
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
6. CONCLUSÃO	20
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

LISTA DE TABELAS

	Pag.
Tabela 1. Classes definidas para a área de estudo	9
Tabela 2. Nível de exatidão de uma classificação, conforme o valor de índice Kappa (LANDIS & KOCH, 1977)	10
Tabela 3. Resultado da estatística Kappa	17
Tabela 4. Parâmetros físicos da BHRQ	18

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1: Localização geográfica da área de estudo.....	6
Figura 2: Etapas desenvolvidas para o uso e cobertura do solo na área de estudo por meio de imagem orbital Landsat-8 / OLI – TIRS.	7
Figura 3: Etapas desenvolvidas para a delimitação da BHRQ.	13
Figura 4: Uso e cobertura do solo através da classificação supervisionada pelo método MAXVER.....	15
Figura 5: Modelo Digital de Elevação (MDE) e Hidrografia da BHRQ.....	19

1. INTRODUÇÃO

A Caatinga que na língua Tupi-Guarani significa “floresta-branca” ou “mata-branca” é o único bioma restrito ao território brasileiro, ocupando basicamente a Região Nordeste, com algumas áreas no estado de Minas Gerais (LEAL et al., 2008). A Caatinga é considerada pelo Ministério do Meio Ambiente como um dos grandes biomas brasileiros, abrangendo 734 mil km² (SILVA et al., 2004). Anteriormente, foi caracterizada por Andrade-Lima (1981) como um domínio, com extensão de 835 mil km².

O termo recursos hídricos passa a ter cada vez mais destaque e importância em escala federal, estadual e municipal onde há algum tempo, o conceito água deixou de ser considerada apenas como um bem natural altamente disponível a toda a população tornando-se um recurso, regiões que diversos fatores ambientais que se acentuam com inúmeras ações antrópicas que tornam cada vez mais indisponível este recurso para a população nos seus diversos usos.

Sano et al. (2005) comentam que, quando se refere à demanda por recursos hídricos, o desenvolvimento das atividades antrópicas tem influência direta sobre esses valores, que podem ser alterados abruptamente, com a simples introdução de uma nova indústria ou área irrigada na bacia. Esse fato fortalece a ideia de que estudos para o conhecimento da demanda por recursos hídricos devem ser atualizados com maior frequência que os de disponibilidade hídrica.

Estudos relacionados com morfometria aplicado a áreas de manejo de bacias hidrográficas e análises hidromorfológicas por meio do MDE (Modelo Digital de Elevação) pelo STRM (*Shuttle Radar Topography Mission / Missão Topográfica do Radar Shuttle*), estão sendo por inúmeros fatores citados constantemente no meio acadêmico, pois as rotinas geradas nos aplicativos computacionais dos softwares (ArcGIS, ERDAS IMAGINE, ENVI e outros), que disponham de tais funções e ferramentas tornam esses estudos mais práticos e confiáveis estatisticamente na obtenção de dados (SANO et al., 2005; COSTA et al., 2010; MEDEIROS et al., 2011; SILVA et al., 2014, entre outros).

Trabalhos realizados por Silva et al. (2014) reforçam a importância do uso de técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto aplicado a análise da caracterização física de bacias hidrográficas.

Os usos de algumas bandas espectrais do sensor TM são importantes para caracterização dos índices de vegetação, temperatura da superfície e mudança da paisagem, o que diminui com isso, o volume analisado de dados, já que todas as informações que se referem a paisagem se resumem a um valor numérico (ANJOS et al., 2013; FREITAS et al., 2012).

O estudo temporal e espacial do uso e cobertura da terra torna-se uma necessidade para o estabelecimento da sociedade humana (PETTA & FERNANDES, 2008). Segundo Petta & Fernandes (2008), o seu estudo exige informações cartográficas confiáveis e atualizadas para subsidiar a implantação de uma política socioambiental.

A busca do entendimento das mudanças ocorridas no meio ambiente provocada pela ação humana é importante para o auxílio de ações mitigadoras dos efeitos ocorridas no uso e cobertura do solo por processos de intensificação de áreas físicas pela construção civil, crescimento demográfico, expansão de áreas agrícolas, industrialização entre outros que exercem influências diretas e indiretas na saúde humana, no tempo e no funcionamento de ecossistemas naturais. O uso de técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) possuem vantagens de apresentar dados pontuais de alta resolução temporal que auxiliam no planejamento do uso da terra (DELGADO et al., 2013).

2. OBJETIVO

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo caracterizar a física e o ambiente nas imediações da Bacia Hidrográfica do Rio Quixeramobim (BHRQ), localizada no Município de Quixeramobim, no Sertão Central do Ceará, Brasil.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICO

- ✓ Coleta de pontos amostrais de uso e ocupação do solo utilizando GPS;
- ✓ Analisar e gerar mapas atualizados através do Landsat-8 da BHRQ;
- ✓ Calcular o índice Kappa Global e Condicional para cada uso e ocupação do solo nas imediações da BHRQ;
- ✓ Calcular a área total da BHRQ (km²) e o perímetro (km);
- ✓ Calcular o coeficiente de compactidade (Kc), o fator de forma (F), índice de circularidade (IC) e a densidade de drenagem (Dd) da BHRQ;
- ✓ Caracterizar a física e o ambiente da BHRQ, através de geotecnologias.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Influência da mudança da paisagem no clima

A contínua redução da paisagem florestal tem como causas principais a atual política de incentivo à exportação que favorece o aumento das fronteiras agrícolas e a inserção de novos projetos pecuários, além dos processos tradicionais de antropização oriundos de assentamentos que juntos se enquadram em atividades legais e ilegais de exploração madeireira (SANTOS et al., 2005).

Mudanças climáticas ocorridas na região amazônica têm origem nas alterações do uso e cobertura da terra o que acarreta em transferência de carbono na forma de dióxido de carbono saindo da biosfera para a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global (NOBRE et al., 2007). Frequentemente têm sido observados principalmente nas regiões Norte e Nordeste do país fenômenos de impactos climáticos como El Niño e La Niña (secas durante o El Niño), e no Sul do Brasil (secas durante La Niña e excesso de chuva e enchentes durante El Niño) (MARENGO, 2007b).

Em grandes centros urbanos a alteração da natureza pela ação antrópica assume grandes proporções. A urbanização altera o balanço de energia desde ondas curtas até a emissão de radiação de ondas longas devido às construções que acabam aumentando a capacidade de absorção da radiação. Este fenômeno cria nas cidades atmosferas específicas, alterando a camada limite, que varia com as condições meteorológicas locais. (OLIVEIRA et al., 2006).

Muitos são os benefícios que a o extrato arbóreo e a vegetação em geral oferecem as áreas urbanas. Os vegetais oferecem proteção aos solos e a fauna; controlam a velocidade dos ventos e auxiliam no aumento da umidade atmosférica. (CHRYSOSTOMO et al., 2009). Por outro lado, locais onde a existe reduzida cobertura florestal devido em grande parte pela ação humana observa-se mudanças sofridas na paisagem e que diretamente afetam o clima local. A baixa taxa de evaporação em ambientes urbanos que por sistemas de drenagem, retirada da vegetação e a pavimentação das superfícies, é o maior fator responsável pelo aumento das temperaturas do ar durante o dia. (TAHA, 1997).

Assim como, áreas que por lei são caracterizadas como Áreas de Preservação Permanente (APP) que desempenham entre outras funções ambientais preservar os recursos hídricos e as paisagens naturais facilitando o fluxo gênico de fauna e flora, que pela legislação brasileira sendo uma das mais rigorosas do mundo não são preservadas a ponto de exercerem na prática seu papel ecológico por isso que segundo Rosa (2011), áreas como matas ciliares que por atrativos de boa fertilidade do solo, são locais quase sempre mais planos e boa disponibilidade de água, acaba se tornando de grande interesse de uso e exploração econômica.

As APP's pela sua importância de manutenção que é regida pelas normas do Código Florestal Brasileiro, Lei nº 4.771/1965, revogada pela Lei nº 12.651, de 25.05.2012, alterada pela Medida Provisória nº 571, de 28.05.2012 (BRASIL, 2012). E que conforme os dispostos pela Lei Federal nº 9.605/1998, considera crime ambiental contra a flora “Destruir ou danificar florestas considerada de preservação permanente, mesmo que em formação, ou utilizá-la com infringência das normas de proteção” (BRASIL, 1998).

3.2. Plataformas orbitais e uso da terra

A estimativa de parâmetros biofísicos de diferentes usos do solo para grandes áreas somente é possível mediante o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto em ambiente usando Sistemas de Informações Geográficas. O Sensoriamento Remoto vem dando suporte a vários estudos sobre a superfície da Terra, dentre os quais se destaca a obtenção do saldo de radiação,

uma variável climática relevante para o conhecimento do comportamento da transferência de calor em diferentes usos do solo (LEITE & BRITO, 2012).

Jensen, 2009 e Moreira, 2009, destacam o uso do sensoriamento remoto suborbital e orbital que quando associados aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), promovem atividades de mapeamentos de recursos terrestres por meio de técnicas de interpretação visual ou classificação de imagens digitais dos sensores Landsat-5/TM (*Land Remote Sensing Satellite*) e CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite) – 2B/CBB. O uso de imagens do CBERS-2 tem sido aplicado no mapeamento da cobertura da terra de diferentes ecossistemas e em escalas distintas na região do Cerrado. Dados multiespectrais e multitemporais do CBERS-2 do Distrito Federal (DF) foram processados para analisar o potencial para discriminar classes representativas de cobertura da terra, demonstrando uma possível limitação para monitorar as suas variações sazonais devido à cobertura de nuvens persistente em imagens do ano de 2005 (BEZERRA et al., 2007). O uso de técnicas de geoprocessamento fornece uma abordagem sinóptica favorável em estudos de extensas áreas territoriais de difícil acesso como é o caso do Pantanal (SHIMABUKURO et al., 1998). As técnicas de sensoriamento remoto vêm-se mostrando promissoras, principalmente em grandes extensões geográficas onde o uso dessas técnicas é necessário, realizando a partir de imagens orbitais o mapeamento, onde a resolução espacial é um dos fatores primordiais na definição das legendas dos mapas temáticos (PONZONI & REZENDE, 2002).

Gasparini et al., 2013, comparam dados obtidos de Áreas de Preservação Permanente (APP) para identificação de conflitos do uso da terra no município de Seropédica-RJ, utilizando cenas do satélite CBERS 2 da câmera CCD (Couple Charge Device), que possui faixas espectrais (cinco bandas) e fornece imagens de uma faixa de 113 km de largura a uma resolução de 20 m; e a classificação supervisionada pelo método da mínima distância para o mapeamento de áreas no município (areia/mineração, água, área urbana, mata, pastagem e solo exposto).

Ferreira et al., 2005, analisaram imagens dos satélites Landsat 7 e CBERS 2 com o objetivo de identificar áreas com fragmentos de floresta semidecídua e avaliar a exatidão da classificação feita por diferentes intérpretes e técnicas de interpretação em Lavras-MG utilizando o SIG-SPRING, que possui recursos para realização da classificação digital e visual. Na comparação das diferentes classificações e avaliação da exatidão, foram empregadas a exatidões global, do consumidor, do produtor e o coeficiente Kappa.

Amaral et al., 2009, em áreas de reservas de floresta nativa pertencentes ao projeto florestal Macedônia, localizado nos Municípios de Bugre e Ipaba em Minas Gerais compararam imagens orbitais fornecidas pelos satélites CBERS-2, IRS-P6 e Quickbird para o mapeamento dos estádios de sucessão florestal, utilizando-se diferentes métodos de classificação de digitais e fusão de imagens. A fusão da banda pancromática do IRS com a imagem multiespectral infravermelha (4R, 3G, 2B) do satélite CBERS-2 com o objetivo de gerar uma imagem multiespectral de alta resolução espacial (6 m), contendo a região do infravermelho próximo.

3.3. Algoritmo da máxima verossimilhança

O algoritmo utiliza a média e covariância das amostras de treinamento. Dados estes parâmetros, pode ser computada a probabilidade estatística de um pixel desconhecido pertencer a uma ou outra classe. Funções de densidade de probabilidade são utilizados para classificar um pixel desconhecido computando a probabilidade de que aquele pixel venha a pertencer a uma dada categoria. Depois de avaliar a probabilidade para cada categoria, o pixel é assinalado à classe cuja probabilidade tenha sido a mais alta, ou a nenhuma delas no caso de os valores de probabilidade estarem abaixo de um determinado limite estipulado pelo analista (SANTOS, 2013).

3.4. Uso do sensoriamento remoto em bacias hidrográficas

Silveira (2001) define a bacia hidrográfica como área de captação natural da água da precipitação, composta basicamente por um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem para uma única saída. Rocha & Kurts (2003) assumem como unidade natural de análise da superfície terrestre as bacias e microbacias, onde é possível reconhecer e estudar as inter-relações existentes entre os diversos elementos da paisagem e os processos que atuam na sua esculturação.

A determinação de parâmetros biofísicos da superfície por técnicas e ferramentas avançadas de sensoriamento remoto com dados mínimos da superfície terrestre, vem sendo aplicada em diferentes ecossistemas e manejo de grandes extensões territoriais destacando-se como boa alternativa para obtenção em escala regional, demonstrando resposta espectral de usos distintos sobre áreas heterogêneas da superfície (Teixeira et al., 2009; Lopes et al., 2010). Tucci & Silveira (2004) afirmam que a bacia hidrográfica é a principal unidade fisiográfica do terreno e constitui-se numa área ideal para o planejamento integrado do manejo dos recursos naturais e na ambiência por ela definida.

Torres et al., (2008) destacam que para a implantação de uma proposta de manejo integrado de uma microbacia passa primeiramente pela elaboração de um diagnóstico básico, os quais levantam todos os problemas da bacia, para análise dos conflitos e recomendação de soluções em todos os níveis.

O desenvolvimento crescente do município de Quixeramobim, CE ocorrido nas últimas décadas está sendo nitidamente visível por moradores locais mais antigos principalmente e usuários das águas do Rio Quixeramobim no tocante ao aumento das construções civis e conseqüentemente, mudanças na paisagem pela alteração/redução ou substituição total da cobertura vegetal natural por pastagens ou agricultura nas imediações do rio. Tucci & Clarke (1997) afirmam que as modificações, sejam naturais e/ou artificiais, na cobertura vegetal das bacias hidrográficas, influenciam o comportamento hidrológico; essas alterações acarretam impactos diversos sobre o meio ambiente e na sua disponibilidade hídrica.

Outro ponto até menos notável, mas observado pela população é a pouca atenção dada à conservação da diversidade biológica da Caatinga e desses ambientes que se encerram dentro desse que é o único bioma natural brasileiro e que de acordo com Garda (1996), somente a presença da vegetação de Caatinga adaptada às condições locais, tem impedido a transformação do Nordeste brasileiro num imenso deserto.

Metodologias baseadas em geotecnologias têm sido desenvolvidas para a classificação automatizada do uso da terra. Procedimentos com base em investigação da característica radiométrica do pixel (análise multiespectral) sem relevar a provável transformação dessas características no tempo (análise multitemporal) e no espaço (textura) estão sendo usadas atualmente (DELGADO et al., 2012b).

As abordagens que utilizam as bacias e microbacias hidrográficas como unidade básica de trabalho, são as mais adequadas para compatibilizar produção com preservação ambiental, por serem unidades geográficas com divisores de água estabelecidos naturalmente (GOBBI et al., 2008).

Zanata et al., (2011) destacam a importância da escala na análise morfométrica das microbacias, pois o aumento da escala e da referência terrestre altera o número de compartimentos hidrológicos e aumenta o comprimento da rede de drenagem, refletindo em alterações sutis nos parâmetros físicos analisados.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Definição da área de estudo

A área de estudo compreende o município de Quixeramobim, pertencente a Bacia Hidrográfica do Banabuiú, tendo na sua Regionalização o Sertão Central sua Microrregião de Planejamento; Mesorregião dos Sertões Cearenses e Microrregião Sertão de Quixeramobim. Situado na Região Nordeste do Brasil (Figura 1) com área de aproximadamente 3.275,84 km². Quixeramobim localiza-se entre as coordenadas 5°11'57" de latitude Sul e 39°17'34" de longitude WGr. De acordo com Köppen, o clima é Tropical quente semi-árido com chuvas concentradas de fevereiro a abril. A pluviometria média é de 707,7 mm e temperatura média de 26°C a 28°C (FUNCEME/IPECE, 2011). Os seus municípios limítrofes ao Norte são: Quixadá, Choró e Madalena; ao Sul: Senador Pompeu e Milhã; ao Leste: Milhã, Solonópole, Banabuiú e Quixadá e ao Oeste são Madalena, Boa Viagem, Pedra Branca e Senador Pompeu. Apresenta em seus componentes ambientais de relevo Depressões Sertanejas e Maciços Residuais; Solos Brunizem Avermelhado, Bruno não Cálxico, Solos Litólicos, Planossolo Solódico, Podzólico VermelhoAmarelo, Regossolo e Vertissolo; Vegetação Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Aberta, Floresta Caducifólia Espinhosa e Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (FUNCEME/IPECE, 2011). Apresenta uma população de 71.887 habitantes em 2010, já para o ano de 2014 a estimativa foi de 76.389 habitantes segundo o IBGE. O município fica localizado a 183 km de Fortaleza (em linha reta). A via de acesso, vindo da Capital do Estado, é a rodovia BR – 116 seguida da BR – 122 até o município de Quixadá onde se acessa a CE - 060 até o município de Quixeramobim.

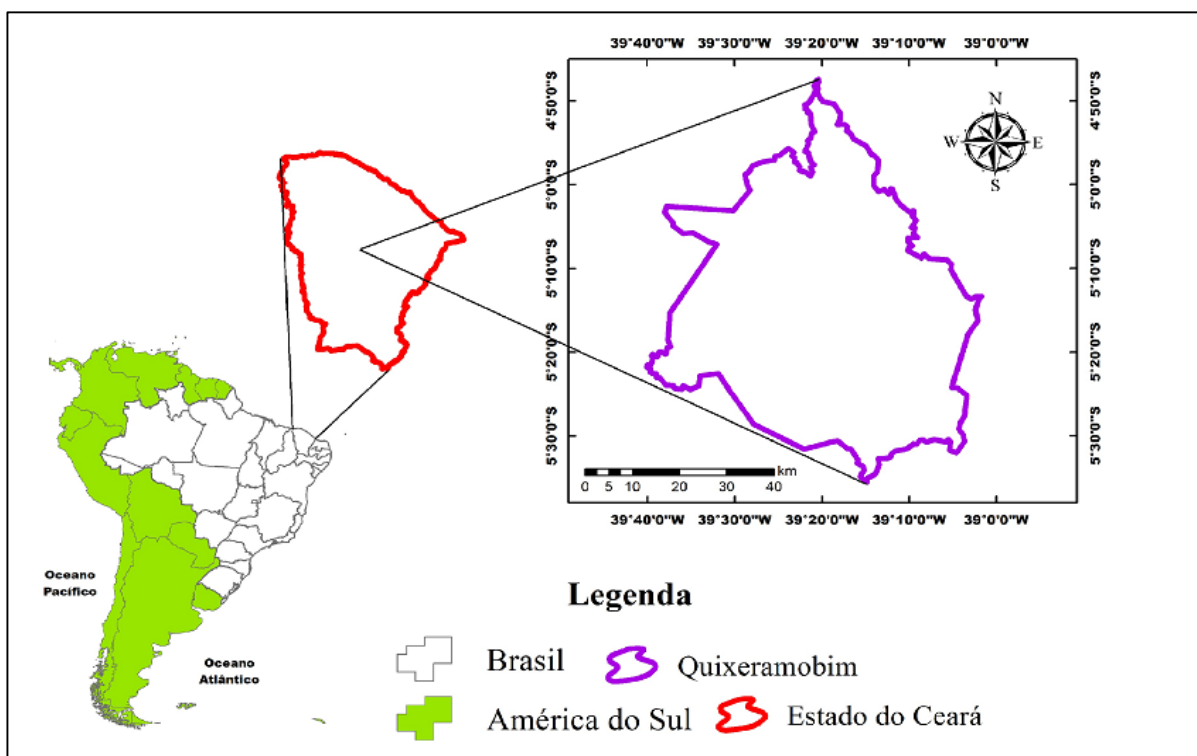


Figura 1: Localização geográfica da área de estudo.

4.2. Técnicas de Sensoriamento Remoto Orbital

Para o estudo, utilizou-se uma imagem do satélite LANDSAT-8, obtida pelo sensor *Operacional Terra Imager* (OLI_TIRS), através do site <http://glovis.usgs.gov/> (USGS, 2014). As imagens obtidas por este sensor consistem de nove bandas multiespectrais com resolução espacial de 30 metros (bandas de 1 a 7 e 9) e uma banda pancromática com resolução espacial de 15 m (banda 8). Foram utilizadas duas cenas e para a junção das mesmas em uma única imagem aplicou-se no software ERDAS IMAGINE 2014 a ferramenta *Mosaic*. O tamanho aproximado de cada uma das cenas é de 170 km ao norte-sul por 183 km a leste - oeste, ambas correspondentes a setembro de 2014.

A identificação do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Quixeramobim - CE ocorreu a partir da interpretação de imagens obtidas pelo sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite Landsat 8, disponibilizadas pelo site da *United States Geological Survey* (USGS). A sequência metodológica utilizada no estudo está apresentada na **Figura 2**.

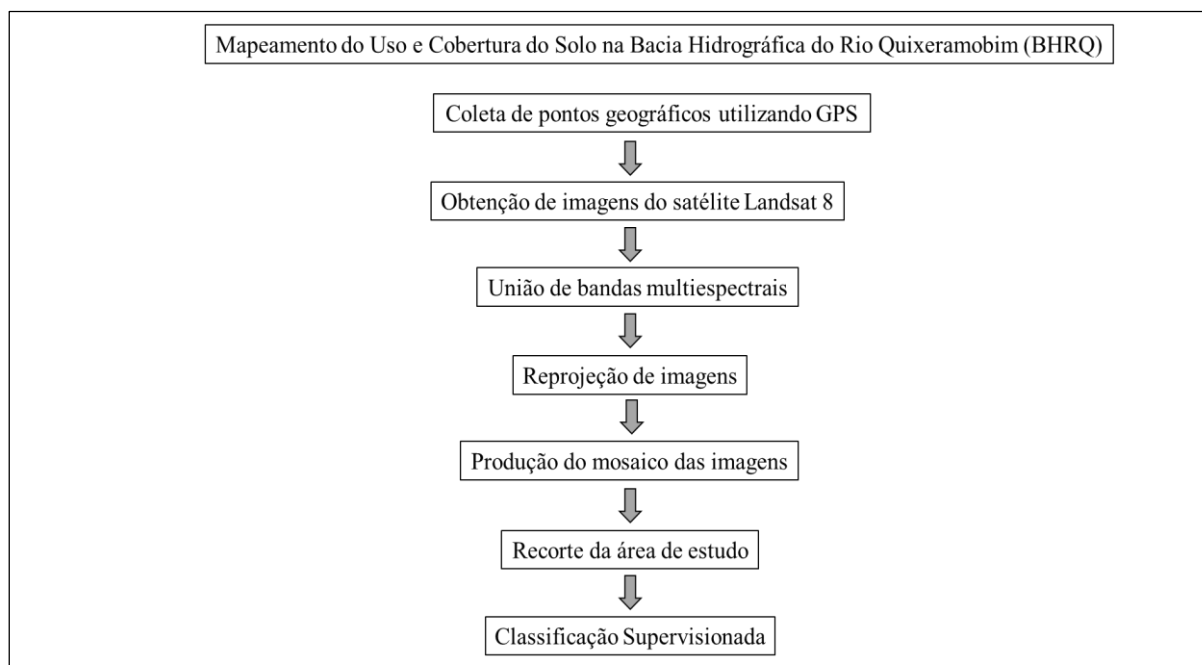


Figura 2: Etapas desenvolvidas para o uso e cobertura do solo na área de estudo por meio de imagem orbital Landsat-8 / OLI – TIRS.

A primeira etapa do trabalho consistiu na coleta de pontos geográficos com uso do receptor GPS e complementadas a partir de imagens de alta resolução (Google Earth), referentes as classes de estudo no município de Quixeramobim, Ceará tais como: área urbana, solo exposto, pastagem, caatinga e água.

A segunda etapa consistiu na busca por cenas do sensor OLI do satélite landsat 8, da área de abrangência da BHRQ, no serviço *web* do *United States Geological Survey* (USGS). Como a área de estudo se encontra entre duas cenas adjacentes (de órbita 217 e postos 63 e 64), buscou-se cenas geradas em datas próximas. As cenas escolhidas foram do mês de setembro de 2014. As cenas de órbita foi imageada no dia 22 de setembro de 2014.

A terceira etapa consistiu da união das bandas multiespectrais da plataforma Landsat-8. Foi realizado a união das bandas do sensor OLI (bandas 1 a 7 e 9); sendo a banda 1 (ultra-azul) que é útil para estudos costeiros e aerossol, a banda pancromática de resolução de 15 m

(banda 8), a banda 9 (cirrus) útil para detecção de nuvens assim como, as faixas térmicas (bandas 10 e 11) pertencentes ao sensor ou instrumento TIRS, úteis no fornecimento de temperaturas de superfícies mais precisas com resolução espacial de coleta de dados de 100 m.

A quarta etapa consistiu da realização da reprojeção das imagens Landsat-8. Esse procedimento se faz necessário pois as imagens estão orientadas ao norte verdadeiro, tornando-se essencial reprojeta-las do seu atual sistema de projeção cartográfica para um novo sistema de projeção. Após esse procedimento que configura-se com outros procedimentos do Processamento Digital de Imagem (PDI), podemos espacializar corretamente as informações geográficas da área de estudo. Ou seja, sem a reprojeção, os pontos coletados em campo por GPS não seriam alocados em suas devidas classes. Ocorreria que em vez de trabalharmos com uma cena Landsat-8 na Projeção/Datum WGS1984 UTM Zone 24 S ao qual pertence a área de estudo, iríamos trabalhar com a mesma cena obtida do Landsat-8 na Projeção/Datum WGS1984 UTM Zone 24 N projetada fora da área de estudo da BHRQ.

A quinta etapa foi a produção dos mosaicos para cada uma das bandas espectrais e para a banda pancromática. Esta etapa teve como objetivo unir os dois recortes de cenas vizinhas dentro do espaço geográfico, definindo a área de estudo no município de Quixeramobim, Ceará. Após a confecção do mosaico na etapa anterior, procedeu-se com o recorte da área do município delimitando-o e separando-o dos demais municípios circunvizinhos imageados na mesma cena.

A sexta e última etapa consistiu na classificação supervisionada que segundo Rosa (2007), refere-se à interpretação de imagens de sensoriamento remoto com auxílio de processos computacionais que em grande parte, seguem exclusivamente a detecção de assinaturas espectrais das classes de cobertura da terra. A classificação supervisionada seguiu etapas de definição de classes de uso e ocupação de solo, em seguida a definição de amostras de treinamento, e finalizando com a aplicação do algoritmo de classificação máximo verossimilhança (MAXVER).

4.3. Coleta de campo com uso do GPS (*Global Positioning System*)

Foram coletados 73 pontos coordenados no município cearense de Quixeramobim, amostrando as diferentes classes de uso e cobertura do solo nas imediações da BHRQ. As classes amostradas em campo foram área urbana, solo exposto, pastagem, caatinga e água (**Tabela 1**). A determinação do uso e cobertura da terra é fundamental na avaliação ambiental de uma região, permitindo um diagnóstico bem circunstanciado e confiável (ESPINOZA e ABRAHAM, 2005). Segundo Congalton (1992), a coleta de dados que representa a real situação de campo na época da obtenção da imagem, é uma parte essencial de qualquer projeto de classificação e mapeamento envolvendo dados obtidos por meio de sensoriamento remoto. Esses dados são usados para verificar a acurácia da classificação, bem como detectar distinção entre classes e aperfeiçoar o processo de refinamento da classificação.

O levantamento em Quixeramobim foi realizado através do GPS (GARMIN Etrex LEGEND Cx), e anotações em caderneta de campo correspondentes ao mês de Maio de 2013.

Tabela 1. Classes definidas para a área de estudo

Classe	Nº de Pontos (GPS)	Descrição
Área urbana	30	Área compreendida ao perímetro urbano
Solo exposto	18	Área anteriormente ocupada por um açude que foi soterrada para construção de residências
Pastagem	17	Pastagem composta por capim Mombaça
Caatinga	8	Vegetação nativa em estágio de sucessão primária
Água	Google Earth	Açude

4.4. Classificação Supervisionada

Foi utilizado o método de classificação supervisionada por máxima verossimilhança, o qual considera a ponderação das distâncias das médias e utiliza parâmetros estatísticos para efetuar a classificação (CRÓSTA, 1992). Assumindo que nenhum método de classificação seja perfeito, a análise de métodos em função de unidades de paisagem e imageadores específicos, é essencial para garantir a confiabilidade de um mapeamento temático (COGALTON e GREEN, 2009). Para o processamento dos dados foi utilizado o software ERDAS IMAGINE 2014. Em seguida foi feita a reprojeção da imagem para o Datum SIRGAS 2000 UTM Zone 24S, visto que as imagens Landsat-8 são orientadas ao norte verdadeiro.

Para a avaliação da concordância entre a verdade de campo e o mapa temático, foi utilizado o índice Kappa (Equação 1) (MOREIRA, 2001). Os valores de Kappa variam de 0 a 1 (Tabela 2), onde valores próximos a 1 sugerem um processo de classificação altamente eficiente (LANDIS e KOCH, 1977).

Tabela 2. Nível de exatidão de uma classificação, conforme o valor de índice Kappa (LANDIS & KOCH, 1977)

Índice Kappa (K)	Qualidade
< 0	Péssimo
0 - 0,20	Ruim
0,20 - 0,40	Razoável
0,40 - 0,60	Moderado a Bom
0,60 - 0,80	Muito Bom
0,80 - 1,00	Excelente

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} * X_{+i})} \quad (1)$$

em que,

K = índice de exatidão Kappa;

r = número de linhas da matriz;

X_{ii} = número de observações na linha i e coluna j;

X_{i+} e X_{+i} = totais marginais da linha i e coluna j, respectivamente;

N = número total de observações.

4.5. Regra de decisão do algoritmo

Sendo M_c o vetor das médias para cada classe c, V_c a matriz de covariância da classe c contemplando todas as bandas (k, ..., L) e x o vetor de medidas dos pixels desconhecidos (Equação 2).

$$VN_{ij1}$$

$$VN_{ij2}$$

$$x = VN_{ij3}$$

em que N é o n° de bandas

.

.

$$VN_{ijn}$$

Assinale x à classe c se e somente se:

$$P_c \geq P_i$$

em que,

$i = 1, 2, 3, \dots, m$ possíveis classes;

P_c = probabilidade de vetor x ser assinalado à classe c ;

P_i = probabilidade do vetor x ser assinalado a qualquer outra classe.

A função de densidade de probabilidade é dada a seguir:

$$P_c = [-\log_e(\det(V_c))] - [0,5(X-M_c)^T(V_c)^{-1}(X-M_c)] \quad (2)$$

em que, $\det(V_c)$ é o determinante da matriz de covariância V_c . Portanto, para classificar o vetor x , a regra de decisão de máxima verossimilhança computa o valor P_c para cada classe e assinala o pixel à classe que possua o maior valor. A equação acima considera que as classes sejam equiprováveis no terreno. No entanto, em muitas aplicações de sensoriamento remoto existe uma alta probabilidade de se encontrar algumas classes mais frequentemente que outras, por exemplo, residencial (20%), pântano (30%), floresta (10%), etc. Assim esperaria encontrar mais pixels sendo classificados como pântano porque ele é mais dominante no terreno. É possível incluir esta informação a priori no processo de decisão atribuindo pesos a cada classe c , de acordo com a sua apropriada probabilidade a priori, a_c . Assim, a equação torna-se: Assinale x à classe c se e somente se:

$$P_c(a_c) \geq P_i(a_c)$$

em que,

$i = 1, 2, 3, \dots, m$ possíveis classes.

$$P_c(a_c) = \log_e(a_c) - [0,5 \log_e(\det(V_c))] - [0,5(X - M_c)^T(V_c)^{-1}(X - M_c)]$$

Esta lei de decisão é idêntica à decisão da máxima verossimilhança, exceto que ela não assume que cada classe tem igual probabilidade. A probabilidade a priori tem sido usada com sucesso como um meio de incorporar os efeitos de deslocamento e outras características do terreno na melhoria da exatidão da classificação.

4.6. Delimitação da bacia hidrográfica do Rio Quixeramobim (BHRQ)

Inicialmente, para a processamento da física da BHRQ, foram utilizados os modelos digitais de elevação do estado do Ceará disponibilizados pelo projeto Topodata de resolução espacial de 30 metros que foi oriundo de dados dos produtos do projeto conduzido pela Agência Espacial Norte - Americana (NASA – nome em inglês *National Aeronautics and Space Administration*) o SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), de resolução espacial original de 90 metros e que por meio da aplicação de processos geoestatísticos de krigagem, houve a alteração da resolução espacial de 90 m, para uma resolução de 30 m para o projeto Topodata (Valeriano e Rosseti, 2009). As imagens resultantes do projeto Topodata são dispostas publicamente em escala nacional, podendo ser obtidos gratuitamente pelo site do Instituto Nacional de Pesquisa Especial – INPE (BRASIL, 2008).

Para o procedimento de delimitação automatizada da bacia hidrográfica em estudo, foi utilizada a ferramenta *Hydrology* do software ArcGIS 10.2.

A etapa seguinte, foi a confecção do mosaico através da ferramenta *Mosaic to New Raster* para recobrir toda a área de BHRQ. Com o mosaico definido, utilizou-se a ferramenta *fill* com o objetivo de corrigir as depressões empíricas ou falhas denominadas de *sinks* contidas no MDE e que conforme MENDES & CIRILO (2001), caracterizam-se por áreas rodeadas por

elevações com valores de cotas superiores, semelhantes a uma depressão. Os dados gerados para o MDE oriundos do SRTM, contêm esses *sinks* em áreas do globo terrestre, resultantes principalmente da ocorrência de corpos hídricos e de relevo acidentado. A frequência de falhas oriundas de relevo acidentado é maior quando apresentam superfícies com inclinação acima de 20°, devido ao sombreamento ocasionado no radar (LUEDELING *et al.*, 2007). As correções dos *sinks* do MDE são os primeiros tratamentos dado à matriz de altitudes, pois os mesmos são considerados empecilhos ao escoamento durante a aplicação de modelos hidrológicos, sedimentológicos e de poluentes de origem difusa. Essas correções são realizadas pela função *fill sinks*, que considera as altitudes dos pixels vizinhos para preencher as depressões, promovendo como isso, a confecção do mapa do Modelo Digital de Elevação com melhor consistência (SOBRINHO *et al.*, 2010).

Após o procedimento das correções do MDE da BHRQ, foi aplicada a ferramenta *Flow Direction* ou Direção do Fluxo que gera uma grade regular definindo as direções de fluxo, tomando-se por base a linha de maior declividade do terreno. O principal algoritmo utilizado no módulo *Hydrology Tools* do ArcGIS 10.2 é o de determinação da direção de fluxo, que é baseado na metodologia apresentada por Jenson e Domingue (1988). Neste algoritmo, a direção de fluxo é determinada pela direção de maior desnível célula a célula, ou seja, o algoritmo avalia a distância centro a centro da célula avaliada com relação às adjacentes, realiza a subtração entre os valores de cotas altimétricas, divide estes valores entre si e seleciona a direção que apresente o maior resultado. Caso não seja escolhida uma célula adjacente, o algoritmo continua avaliando as demais células do entorno, até que se determine uma direção. A direção de fluxo é então obtida para todo o MDE na forma de uma nova matriz (*raster*), onde cada célula armazena um valor correspondente à direção escolhida. Esse *raster* é então utilizado para a acumulação das áreas contribuintes e delimitação de bacias. Rennó *et al.* (2008), definem como as relações hidrológicas entre pontos diferentes dentro de uma bacia hidrográfica. A continuidade topológica para as direções de fluxo é, conseqüentemente, necessária para que uma drenagem funcional possa existir. As conexões hidrológicas de direção de fluxo entre dois pontos em uma superfície não são as mesmas que aquelas baseadas em distância Euclidiana.

O Fluxo Acumulado é a sequência da metodologia do presente trabalho após a etapa da direção do fluxo e é um parâmetro que indica o grau de confluência do escoamento e pode ser associado ao fator comprimento de rampa aplicado em duas dimensões. O fluxo acumulado, também denominado área de captação, apresenta obtenção complexa, manual ou computacional, uma vez que reúne, além de características do comprimento de rampa (conexão com divisores de água a montante), também a curvatura horizontal (confluência e divergência das linhas de fluxo) (VALERIANO, 2008). O Fluxo Acumulado foi gerado pela ferramenta *flow accumulation*, que segundo Mendes & Cirilo (2001) representa a rede hidrográfica, sendo possível montar nova grade contendo os valores de acúmulo de água em cada pixel. Desse modo, cada pixel recebe um valor correspondente ao número de “pixels” que contribuem para que a água chegue até ele. O fluxo acumulado é obtido somando-se a área das células (quantidade de células) na direção do fluxo (ou escoamento) (SOBRINHO *et al.*, 2010).

Após a elaboração do fluxo acumulado, a etapa seguinte foi o cálculo da Rede de Drenagem pelo *Map Algebra* em *Raster Calculator* do *Spatial Analyst Tools*. Utilizamos em *Map algebra expression* o valor do fluxo acumulado da bacia maior do que 50, visto que com esse valor pôde ser observado um detalhamento maior da rede de drenagem quando comparado a um valor maior que 500 usualmente utilizado.

Com a obtenção da Rede de Drenagem pelas ferramentas citadas na etapa anterior, a mesma foi convertida para o formato *shape file* (.shp). Com a indicação do fluxo de água que possibilita a observação da direção do escoamento de água nas vertentes e a visualização do relevo, foi possível a delimitação da bacia de drenagem pela ferramenta Basin no ArcGis 10.2.

A etapa seguinte consistiu na utilização da ferramenta Clip do *Analysis Tools* do *Arc Toolbox* cujo o arquivo de entrada foi a Hidrografia em UTM e o arquivo de saída foi a bacia do rio Quixeramobim no formato *shapefile*. O resultado final desse processamento realizado no ArcGis (Figura 3), foi um shape do recorte da Hidrografia apenas nos limites da Bacia Hidrográfica do Rio Quixeramobim.

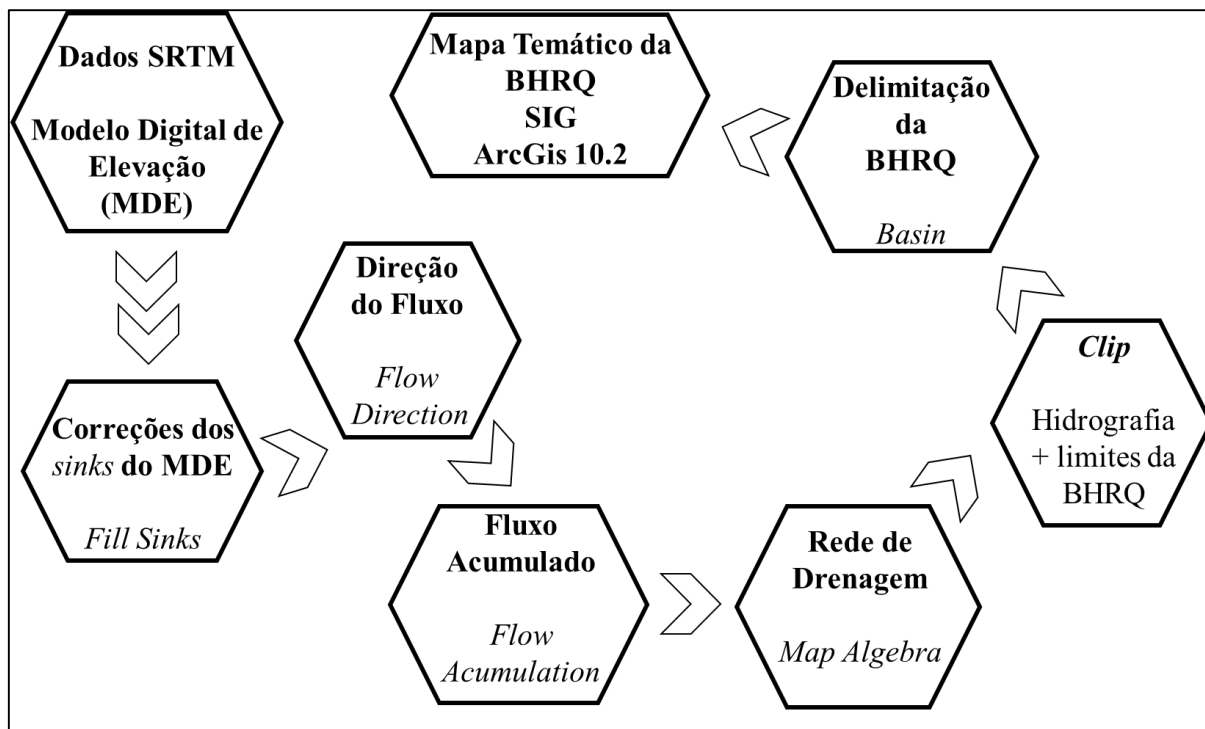


Figura 3: Etapas desenvolvidas para a delimitação da BHRQ.

Com os índices hidrológicos estabelecidos, as etapas seguintes consistiram no estabelecimento da física da bacia e para isso, utilizamos a ferramenta do ArcGis 10.2 *Projections and Transformations* em *Data Management Tools* para transformarmos a projeção WGS 1984 do Raster da BHRQ para SIRGAS 2000 UTM Zona 24S.

A segunda etapa foi alocarmos o arquivo (.shp) referente a bacia hidrográfica do Rio Quixeramobim no Modelo Digital de Elevação (MDE) para ser recordado através da ferramenta *Extract by Mask* no *Spatial Analyst Tools*.

Nos processamentos da física da BHRQ observou-se que com a delimitação automática, os resultados seguem de maneira semelhante aos resultados de delimitação das bacias descritas pela base cartográfica Google Earth do Estado do Ceará disponibilizado pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) no endereço (<http://www.cogerh.ce.gov.br/base-cartografica>), no formato de arquivo (.kmz). Dessa forma, não foi realizada a delimitação automática da bacia hidrográfica do Rio Quixeramobim e sim, a delimitação manual.

Com o auxílio das drenagens mapeadas pela Agência Nacional de Águas (ANA) na escala de 1:1.000.000 foi realizada a delimitação da bacia do Rio Quixeramobim partindo do exutório da bacia. Após essas etapas, realizou-se por meio do ArcGis 10.2 os trabalhos dos dados vetoriais e recorte da bacia em estudo para cálculos de índices hidrológicos: Área da bacia (m²); Perímetro (m²) e Comprimento do maior eixo (m), aplicando as equações descritas por Cardoso et al. (2006) e o trabalho realizado em duas sub-bacias no estado acreano em Cruzeiro do Sul (SILVA et al., 2014); Coeficiente de compacidade (Kc); Fator de forma (F); Índice de circularidade (IC) e a Densidade de drenagem (Dd) respectivamente (Equação 3-6).

$$Kc = 0,28 \times \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right) \quad (3)$$

em que:

Kc = coeficiente de compacidade;
P = perímetro da bacia, m;
A = área de drenagem da bacia hidrográfica, m².

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (4)$$

em que:

F = fator de forma;
A = área de drenagem da bacia hidrográfica, m²;
L = comprimento do eixo da bacia hidrográfica, m.

em que:

$$IC = \frac{12,57 \times A}{P^2} \quad (5)$$

em que:

IC = índice de circularidade;
A = área de drenagem da bacia hidrográfica, m²;
P = perímetro da bacia hidrográfica, m.

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (6)$$

em que:

Dd = densidade de drenagem, Km.Km⁻¹ ;
Lt = comprimento total de todos os canais, Km;
A = área de drenagem da bacia hidrográfica, Km².

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A identificação das classes de uso e ocupação do solo nas imediações da BHRQ em estudo se deu através da classificação supervisionada (Figura 4). Verificou-se pela utilização do classificador MAXVER um resultado representativo do índice Kappa Global de 57,50% (Tabela 3), indicando que esse valor encontrado na classificação necessita de um maior número de amostras de superfície e espectral.

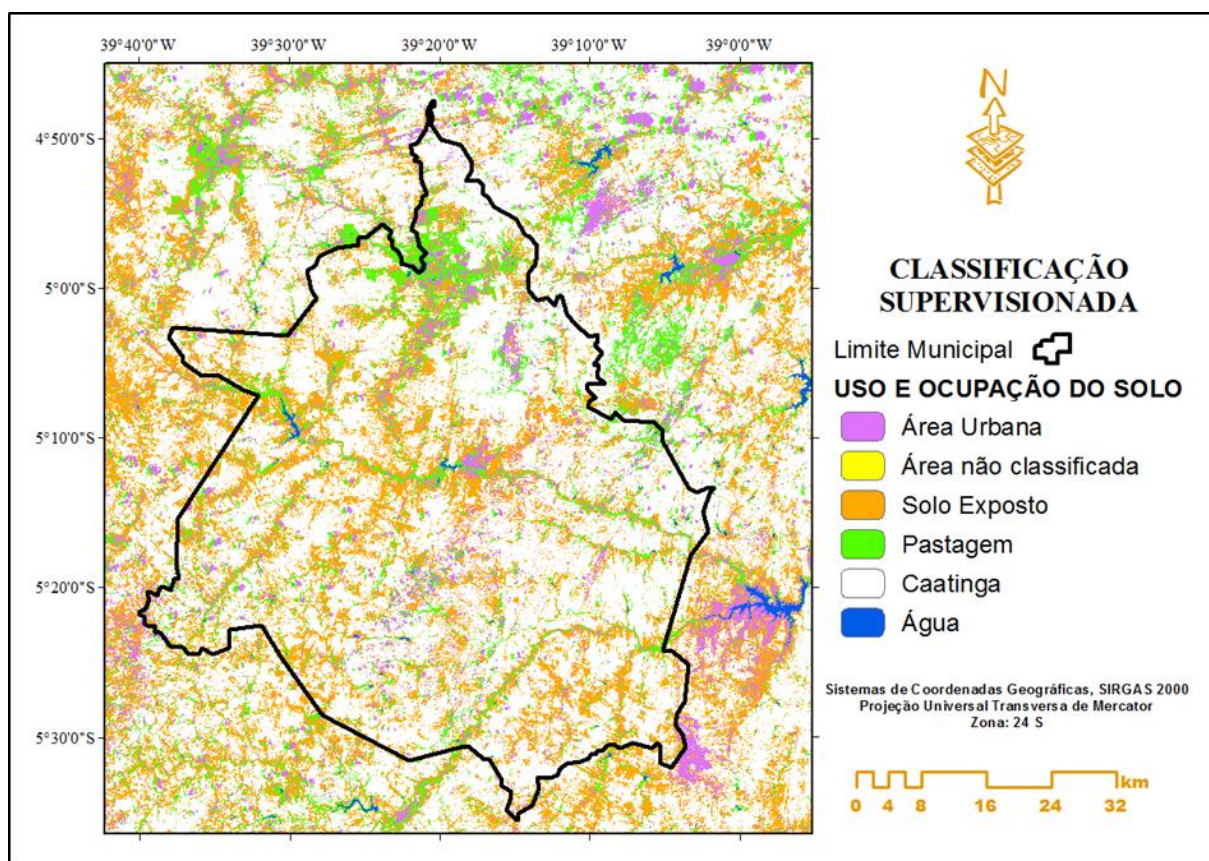


Figura 4: Uso e cobertura do solo através da classificação supervisionada pelo método MAXVER.

Em estudo de caracterização por técnicas de sensoriamento do uso da terra no município de Areia Branca no Rio Grande no Norte, Silva et al., (2014) utilizando imagem Landsat 5 no software SPRING 5.2, obtiveram com 10 pontos supervisionados em campo por uso de GPS um valor Moderado de índice Kappa de 0,5000, ou seja, 50% de erros e 50% de acertos, pelo classificador *Bhattacharya distance* que apresenta limiar mínimo de 30% e valor de área do *pixel* 30 m.

Gonçalves et al. (2015) em estudo sobre métodos de classificação supervisionada de imagens de satélite aplicadas no mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio em São Manuel, São Paulo, obtiveram pela classificação supervisionada MAXVER e pela classificação por digitalização da verdade de campo, um índice Kappa calculado de 0,3322, considerado como Razoável, segundo Landis & Koch (1977). Os autores concluíram que a classificação utilizada apresentou diferença significativa entre a área classificada e a verdade terrestre, exigindo um elevado tempo na determinação das amostras de treinamento.

Em trabalhos de uso e ocupação do solo com intuito de classificar supervisionadamente feições de campo por meio de pontos de controle da área de interesse, a baixa amostragem dessas feições pelo uso do aparelho GPS ou por imagens de alta resolução espacial, leva o algoritmo a alocar pixels em classes indevidas, aumentando a imprecisão da classificação da imagem. Consequentemente, o aumento do número de pontos na amostragem em campo leva o algoritmo a reconhecer espectralmente com uma melhor precisão as classes de uso e ocupação do solo.

Em estudo de análise da cobertura vegetal e do uso da terra utilizando imagens LANDSAT 5 nos municípios Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade, pertencentes ao Agreste Pernambucano, Sá et al. (2010) por meio de classificação não supervisionada do NDVI e levantamentos de campo por meio de uma base digital de rodovias elaborada a partir de levantamento com GPS, obtiveram um valor estatístico médio geral de Kappa igual a 0,78, sendo considerado Satisfatório para o método de classificação não supervisionado com posterior reclassificação após visita de campo. Semelhantes resultados, utilizando classificação supervisionada, foram obtidos com uma boa precisão (Kappa = 81,02 %) por Ribeiro et al, (2008), no mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal nos municípios do Agreste Paraibano de Pocinhos e Puxianã.

Batista & Santos (2011) analisando imagens Landsat 5 nos anos de 1993, 1994, 2007 e 2008 para estudos de dinâmica do uso e ocupação da terra no município de Teofilândia-Bahia, obtiveram utilizando o algoritmo MAXVER na classificação supervisionada um valor de índice Kappa igual a 0,86. Foram alocados pelo uso do GPS 128 pontos coordenados em campo das classes água, área urbana, caatinga, pastagem e solo exposto (7, 4, 28, 32 e 57 pontos, respectivamente). Resultados semelhantes por classificação supervisionada usando o classificador de regiões *Bhattacharrya* com aceitação de 99,9%, foram obtidos por Pessoa et al. (2013) no estado do Mato Grosso, analisando o espaço-temporal da cobertura vegetal e do uso da terra na Interbacia do Rio Paraguai Médio. Pelo uso de imagem Landsat 5 nos *softwares* Spring 5.1.7 e ArcGis 9.2, os autores encontraram valores de índice Kappa para os anos de 1991, 2001 e 2011 iguais a 0,98; 0,99 e 0,98 respectivamente. No mesmo estudo, encontraram-se valores de acurácia global (%) de 99,59 para o ano de 1991, para 2001 um valor de 99,87 e para o ano de 2011, um valor de 99,57.

O índice Kappa, quando observado por classe (Tabela 3), apresentou valores baixos para áreas de solo exposto (0,1352) e pastagem (0,2888), obtiveram baixíssimos índices Kappa mostrando que a amostragem foi inadequada para classificação da resposta espectral destas feições. As classes área urbana (0,4958) e água (0,5422) com 49% e 54% respectivamente, apresentaram valores Moderados a Bom de Kappa para suas feições em relação a amostragem, para a classificação de sua resposta espectral. No entanto, a classe caatinga foi a única que apresentou valor representativo Muito Bom de acordo com o índice Kappa 0,7771 (77%).

Na análise das áreas em estudo nas imediações da BHRQ, a área urbana foi a que mais apresentou confusão de suas respostas espectrais com a de outra classe, principalmente com solo exposto, fato que pode ser atribuído ao baixo número de amostras de ambas as classes.

A classe de solo exposto 0,1352 (13%) e pastagem 0,2888 (28%), com uma amostragem inadequada de (18 e 17 pontos coordenados em campo, respectivamente), foram as classes que apresentaram as piores classificações pelo método supervisionado escolhido.

Analisando os valores obtidos pela classificação supervisionada validada pela amostragem em campo das feições nas imediações da BHRQ e os trabalhos realizados pelos autores acima citados, os resultados do baixo número de pontos coordenados para cada classe resultam uma baixa precisão da classificação da imagem pela alocação indevida de pixel em classes distintas.

Tabela 3. Resultado da estatística Kappa

ESTATÍSTICA KAPPA	KAPPA CONDICIONAL POR CLASSE	
Kappa Global	Classe	Kappa
Acurácia = 57.50%	Área não classificada	0,0000
	Área Urbana	0,4958
	Solo Exposto	0,1352
	Pastagem	0,2888
	Caatinga	0,7771
	Água	0,5422

Levando em consideração que parte das áreas ocupadas pela pastagem no município encontram-se localizadas nas margens e beiras de rios, açudes ou corpos d'água em que deveriam está sendo ocupadas pela vegetação de mata ciliar, influenciam direta e/ou indiretamente o ciclo hidrológico nas imediações da BHRQ.

Segundo Pinto et al. (2004) em um estudo de caracterização de nascentes perenes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz em Lavras, MG assumem que a declividade, o tipo de solo e o seu uso, podem modificar tanto na qualidade quanto na quantidade de água, além de influenciar no armazenamento da água subterrânea e no regime das nascentes e dos cursos d'água.

Em um estudo da dinâmica do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do riacho São Paulo na região semiárido do Estado de Pernambuco entre os anos de 1991 a 2010, utilizando imagens do sensor TM e os índices Kappa Coelho et al. (2014) destacaram que a substituição das coberturas de caatinga aberta e densa, pelas áreas de pastagem/agricultura mostraram que o desmatamento da caatinga para a utilização dessas áreas como pastagem e agricultura acontece na maioria dos casos, a partir da caatinga aberta devido a facilidade no processo de desmatamento, essas mudanças no uso e ocupação do solo representaram um elevado dinamismo da bacia hidrográfica em estudo. No mesmo estudo, entre os anos de 2000 a 2010 os autores concluíram que houve uma mudança em 19,8 km² da área da bacia e que este valor representou 41,8% da área total, com o crescimento anual de 4,2%.

A classe Caatinga com 8 pontos coordenados em campo no presente trabalho, foi a única que apresentou valor representativo pela classificação supervisionada segundo o índice Kappa condicional por classe estabelecido por Landis & Koch (1977). O valor considerado muito bom de 77% para esta feição de uso e ocupação do solo ocorreu provavelmente pelo fato da vegetação ser entre as feições, a que mais apresenta bandas refletivas, essas características a nível de classificação de imagem são consideradas como erros de comissão pois os pixels são erroneamente incluídos em uma determinada classe quando os mesmos deveriam ser assinalados a uma outra classe, além da baixa amostragem de todas as classes levantadas no município de Quixeramobim, levando o algoritmo MAXVER a alocar pixels em classes indevidas, aumentando a imprecisão da classificação.

Considerando que a vegetação nativa predominante no município de Quixeramobim é a Caatinga, sua existência principalmente em áreas próximas aos corpos hídricos contribui nas relações hidrológicas de uma bacia. Pinto et al. (2004) encontraram maiores vazões nas nascentes com uso do solo sob mata nativa em relação às áreas de pastagem. Segundo os autores, a mata nativa favoreceu uma maior infiltração das águas das chuvas no solo e consequentemente a recarga de aquíferos e alimentação das nascentes, impedindo que estas águas sejam drenadas para o leito dos rios. De acordo com Castro et al. (1999) a floresta é

importante para a estabilidade de vertentes que formam nascentes, aumentando a infiltração da água no solo e diminuindo a erosão hídrica.

O valor de 7.567,04 km² e que segundo Silveira (2001), a área da bacia hidrográfica é um dado fundamental para definir sua potencialidade hídrica, haja vista que seu valor define, multiplicado pela lâmina da chuva precipitada, o volume de água recebido pela bacia. A bacia apresentou um perímetro de 533,83 km, o comprimento de seu maior eixo ou comprimento axial medido no sentido horizontal da bacia foi de 141.145,85 m (Tabela 4).

Tabela 4. Parâmetros físicos da BHRQ

Característica física da BHRQ	Valor
Área (km ²)	7.567,04
Altitude Maior (m)	1.127,89
Altitude Menor (m)	108,14
Altitude Média (m)	384,72
Perímetro (km)	533,83
Comprimento do Maior Eixo (m)	141.145,85
Comprimento de todos os canais (km)	1.991,91
Número de Drenos	574.054
Coefficiente de Compacidade (Kc)	1,72
Fator de Forma (F)	0,38
Índice de Circularidade (IC)	0,33
Densidade de Drenagem (Dd) km.km ⁻²	0,26

A maior altitude da BHRQ foi de 1.127,89 m; a menor altitude encontrada foi de 108,14 m e a altitude média de 384,72 m (Figura 3).

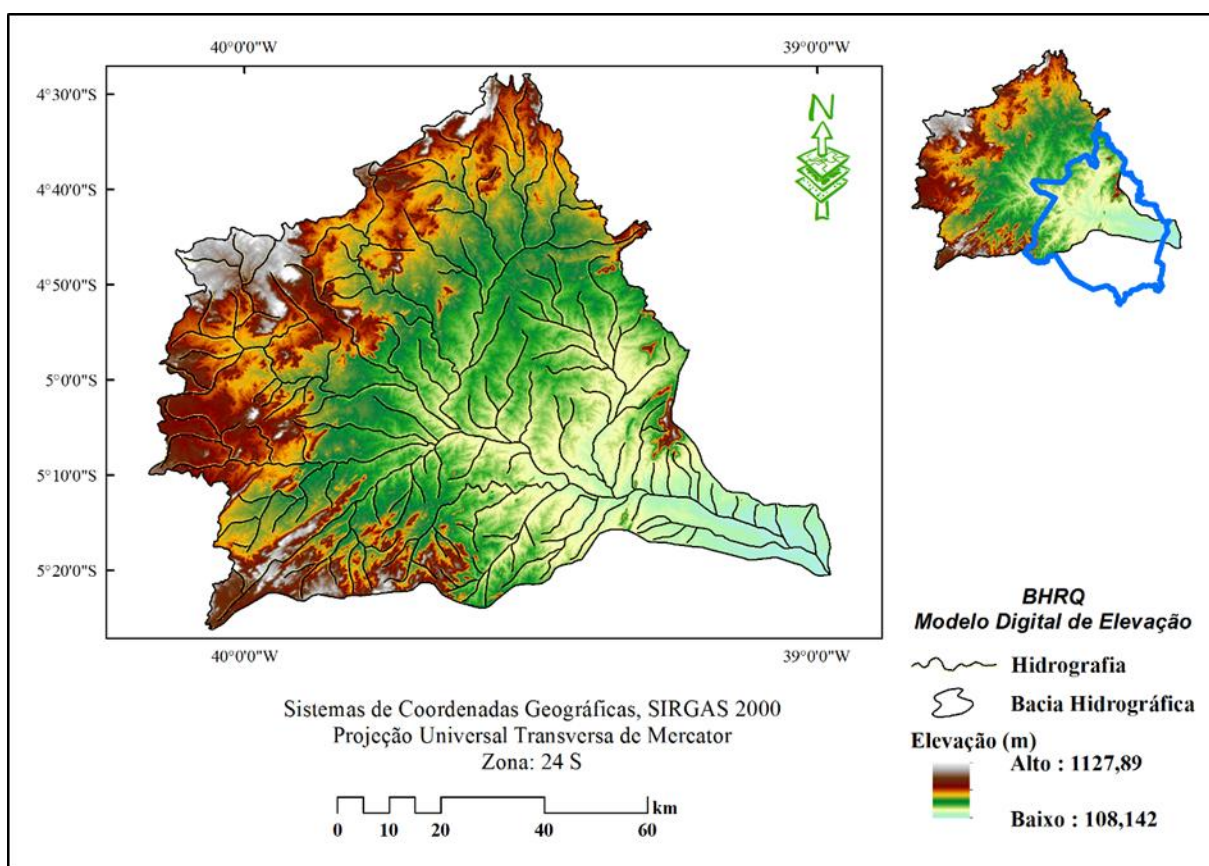


Figura 5: Modelo Digital de Elevação (MDE) e Hidrografia da BHRQ.

Na BHRQ foi obtido o um valor 1,72 de Coeficiente de Compacidade (K_c) e um Fator de Forma (F) igual a 0,38, o que indica que a bacia hidrográfica possui formato alongado, isto é, quanto mais esses índices se afastam da unidade menor, menor a chance da bacia hidrográfica possuir formato circular e, portanto, menor risco de enchentes.

Em estudo de caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan em Nova Friburgo no estado do Rio de Janeiro, Cardoso et al. (2006) afirmam segundo os índices da física da bacia que o K_c igual a 1,5842 e um F com seu valor considerado baixo de 0,3285, demonstram que esta bacia é pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação, indicando que esta bacia não possui forma circular, mas uma tendência de forma alongada.

Resultados semelhantes foram encontrados na Bacia Hidrográfica do Igarapé Canela Fina (BHICF) por Silva et al. (2014) em estudo de caracterização física em duas bacias hidrográficas do Alto Juruá no estado Acre. Semelhantes resultados também foram obtidos na microbacia do córrego Ipaneminha na região de Sorocaba/SP e na bacia hidrográfica do rio Debossan em Nova Friburgo/RJ (PINHEIRO et al., 2011; CARDOSO et al., 2006); os autores destacam que quanto mais esses índices se distanciam da unidade e quanto mais próximos de zero for o fator de forma, menor será a susceptibilidade a enchentes.

Tonello et al. (2006) assumem, em estudos na bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas na região de Guanhanês em Minas Gerais que também apresenta formato alongado, esta característica representa um menor risco de enchentes nesse tipo de bacia e é atribuído às condições normais de precipitação.

No trabalho desenvolvido pela Geosolos Consultoria, Projetos e Serviços LTDA em 2011 para a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) do estado do Ceará, a bacia do açude Quixeramobim em seu inventário ambiental utilizando imagem Landsat de 2008, foram encontrados valores de índice de compacidade igual a 1,58 e fator de forma de 0,58, o que equivale a uma boa distribuição de escoamento quando comparado às bacias tangentes de tamanho e solos equivalentes, evidenciando baixo risco a enchentes em picos de intensidades chuvosas (CEARÁ, 2011).

A densidade de drenagem (Dd) da BHRQ apresentou valor igual a 0,26 km², valores reduzidos de Dd se associam geralmente a regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixa intensidade ou pouca concentração da precipitação (TONELLO et al., 2006). Silva (2003) também verificou que a bacia do córrego Capetinga, localizada na região sudoeste do Distrito Federal, possui formato bastante arredondado e, conseqüentemente, propicia cheias elevadas e de curta duração; o Kc calculado foi de 1,09 e a Dd de 0,49 km km⁻¹. Silva et al. (2014) em estudo de caracterização física em duas bacias hidrográficas do Alto Juruá no estado Acre encontraram valores considerados baixos para Dd que segundo Villela & Mattos (1997), esta característica física de bacia pode variar seu índice de 0,5 a 3,5 km km⁻² em bacias com drenagem pobre e bacias excepcionalmente bem drenadas, em que se pode inferir que a BHRQ, possui drenagem deficitária além de responder lentamente a eventos hidrológicos.

6. CONCLUSÃO

A classe Caatinga foi a que apresentou o melhor resultado entre as classes supervisionadas no estudo. A BHRQ não apresenta riscos de enchentes em condições normais de precipitação para região do Sertão Central do Ceará.

Conclui-se pelos índices e valores obtidos na caracterização física e ambiental das imediações da bacia hidrográfica do Rio Quixeramobim, que os mesmos são importantes ferramentas de gestão, para ordenamento territorial urbano e rural, servindo como aliada na base de dados para tomadas de decisão pelos órgãos, entidades, parceiras públicas e privadas responsáveis em fomentar políticas de planejamento ambiental no estado do Ceará e Região do Sertão Central. Além disso, o estudo contribui significativamente para modelagem hidrológica, previsão de enchentes de rios, barragens e açudes; monitoramento da cobertura vegetal em área de preservação permanente protegidas por lei dentre outras atividades relacionadas ao manejo de recursos hídricos locais e de regiões semiáridas similares a BHRQ.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, N. L. R. *et al.* Caracterização Morfométrica e Pluviométrica da Bacia do Rio Manso, MT. **Revista Geociências**. São Paulo, UNESP, v. 27, n. 2, p. 237-248, 2008.

AMARAL, M. V. F.; SOUZA, A. L.; SOARES, V. P.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; MARTINS, S. V.; FILHO, E. I. F.; LANA, J. M. Avaliação e comparação de métodos de classificação de imagens de satélites para o mapeamento de estádios de sucessão florestal. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.33, n.3, p.575-582, 2009.

BATISTA, J. L., SANTOS, R. L. A geotecnologia como ferramenta para o mapeamento do uso e ocupação do solo, entre 2007 e 2008, no município de Teofilândia – BA. **Revista Geografia**, v.20, n.3, p. 095-108, set./dez. 2011.

BRASIL 2012. Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25 de fevereiro de 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso em 12 set. 2014.

BRASIL. Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e das outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 12 de fevereiro de 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm. Acesso em 12 set. 2014.

BEZERRA, H. S.; SANO, E. E.; FERREIRA, L. G. Desempenho do satélite sino-brasileiro de recursos terrestres cbers-2 no mapeamento da cobertura da terra no distrito federal, brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, Vol. 25(2): 171-185, 2007.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Topodata: banco de dados geomorfométricos do Brasil**. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008.

COSTA, C. A. G., DOS SANTOS TEIXEIRA, A., DE ANDRADE, E. M., MACÍLIO, A., DE LUCENA, P., DE CASTRO, M. A. H. Análise da influência vegetacional na altimetria dos dados SRTM em bacias hidrográficas no semiárido. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 02, p. 222-230, 2010.

CASTRO, P.S. Bacias de cabeceira: verdadeiras caixas d'água da natureza. *Ação Ambiental*, Viçosa, v.1, n.3, p.9-11, 1999.

COELHO, V. H. R., MONTENEGRO, S. M. G. L., ALMEIDA, C. N., LIMA, R. V., NETO, A. R., MOURA, G. S. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.

CEARÁ. Inventário Ambiental do Açude Quixeramobim. Volume único. Fortaleza, Ceará. Dezembro, 2011.

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. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CHRYSOSTOMO, N.; MOURA, A. R.; NUCCI, J. C.; FÁVERO, O. A. Mapeamento e Avaliação da Arborização de Rua do Bairro de Santa Cecília (São Paulo - SP). In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa. Anais do XIISBGFA. Viçosa: Ed. UFV, 2009. Disponível em: http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/resumos_expandidos/eixo5/010.pdf. Acesso em: 20. set. 2014.

DELGADO, R. C.; SEDIYAMA, G. C.; COSTA, M. H.; SOARES, V. P.; ANDRADE, R. G. Classificação espectral de área plantada com a cultura da cana-de-açúcar por meio da árvore de decisão. *Revista Engenharia Agrícola*, v.32, p.369-380, 2012b.

SANO, E. E., LIMA, J. E., SILVA, E. M., OLIVEIRA, E. C. Estimativa da variação na demanda de água para irrigação por pivô-central no Distrito Federal entre 1992 e 2002. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 508-515, 2005.

SOBRINHO, T. A., OLIVEIRA, P. T. S., RODRIGUES, D. B. B., AYRES, F. M. Delimitação Automática de Bacias Hidrográficas utilizando dados SRTM. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, jan./fev. 2010.

MEDEIROS, L. C., FERREIRA, N. C., FERREIRA, L. G. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 61/2, 2011.

SILVA, E. R.; DELGADO, R. C.; SOUZA, L. P.; SILVA, I. S. Caracterização física em duas bacias hidrográficas do alto Juruá, Acre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. a, n. a, p. a-a, 2014.

SILVA, G. C. M.; JUNIOR, N. P. C.; SILVA, F. M. Caracterização do uso da terra no município de Areia Branca-RN, por técnicas de sensoriamento remoto. **Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 33, n. 2, p.314-329, 2014.

SÁ, I. I. S., GALVINCIO, J. D., MOURA, M. S. B., SA, I. B. Cobertura vegetal e uso da terra na região Araripe Pernambucana. **Revista Mercator**, v. 8, n.14; p. 143-163, mai./ago. 2010.

FREITAS, D.M.; DELGADO, R.C.; RODRIGUES, R.A.; SOUZA, L.P. Variabilidade espaço-temporal na mudança da paisagem no município de Arelândia, AC. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; p. 935-946, 2012.

ANJOS, A. W.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA JUNIOR, J. F.; GOIS, G.; MORAES, N. O. Temperatura da superfície continental associada a eventos meteorológicos na cidade do Rio de Janeiro, RJ. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 3692-3707, 2013.

PETTA, R. A., FERNANDES, R. C. Detecção automática da dinâmica da cobertura da terra por sensoriamento remoto. **GEOGRAFIA (Londrina)**, v. 17, n. 1, p. 109-124, 2008.

DELGADO, R. C.; RODRIGUES, R. A.; OLIVEIRA JUNIOR, J. F.; GOIS, G. Uso do sensor TM na estimativa da temperatura da superfície e mudança no uso do solo em Viçosa, MG, Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, p. 17-30, 2013.

ROSA, R. Introdução ao Sensoriamento Remoto. Uberlândia: Editora da UFU, 2007.

ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto, 5ª ed. Uberlândia: Ed. da Universidade Federal de Uberlândia, 2003.

LEAL, I. R., TABARELLI, M., SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. 3ª. ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2008. 822 p.

GARIGLIO, M. A *et al.* Uso Sustentável e Conservação dos Recursos Florestais da Caatinga. Brasília: Serviço florestal Brasileiro, 2010. 368 p.

FERRARI, J. L. *et al.* Análise Morfológica da Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego Horizonte, Alegre, ES. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v. 8, n. 2, p. 181-188, 2013.

TONELLO, K. C. *et al.* Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

GOMES, A. R.; MALDONADO, F. D. Análise de Componentes Principais em Imagens Multitemporais TM/Landsat como Subsídio aos Estudos de Vulnerabilidade à Perda de Solo em Ambiente Semi-Árido. Anais... Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos, INPE. 1998.

SANTOS, J. R.; MALDONADO, F. D.; GRAÇA, P. M. L. A. Integração de imagens landsat/etm+ e cbers-2/ccd para detecção de mudanças em área da amazônia sob domínio da floresta de transição. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 57/01, 2005. (ISSN 1808-0936).

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L., 2007. Mudanças Climáticas e Amazônia. **Cien. Cult.**, São Paulo, v. 59, n. 3, p. 22 – 27.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade** – caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. 2 ed. Brasília, Ministério do Meio Ambiente/ Secretaria de Biodiversidade e Florestas, 2007b.

OLIVEIRA, L. G. L.; PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; CAMARGO, F. F.; GUERRA, J. B. Anomalias térmicas de centros urbanos e ocorrência de granizo na zona leste de São Paulo: Estudo de Caso. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. Anais XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006.

TAHA, H. (1997) Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, n° 25, p. 99-103, 1997.

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

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução de Epiphânio, J.C. N. (Coordenador)...[et al.]. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598p.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Viçosa, MG: UFV, 4ª edição, 2009, 320 p.

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

SHIMABUKURO, Y.E.; NOVO, E.M.; PONZONI, F.J. Índice de vegetação e modelo de mistura espectral no monitoramento do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 1729-1737, 1998.

PONZONI, F. J.; REZENDE, A. C. P. Influência da resolução espacial de imagens orbitais na identificação de elementos da paisagem em Altamira - PA. **Revista Árvore**, v.26, n.4, p.403-410, 2002.

PINTO, V.A.P.; BOTELHO, S.A.; DAVIDE, A.C.; FERREIRA, E. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba. n.65, p.197-206, jun. 2004.

PESSOA, S. P. M.; GALVANIN, E. A. S.; KREITLOW, J. P.; NEVES, S. M. A. S.; NUNES, J. R. S.; ZAGO, B. W. Análise espaço-temporal da cobertura vegetal e uso da terra na interbacia do Rio Paraguai Médio-MT, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.1, p.119-128, 2013.

GASPARINI, K. A. C.; LYRA, G. B.; FRANCELINO, M. R.; DELGADO, R. C.; JUNIOR, J. F. O.; FACCO, A. G. Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aplicadas na Identificação de Conflitos do Uso da Terra em Seropédica-RJ. **Revista Floresta e Ambiente**. Seropédica-RJ, 20(3):296-306, jul./set., 2013.

FERREIRA, E.; SANTOS, J. P.; BARRETO, A. C.; DANTAS, A. A. A. Identificação de fragmentos de floresta nativa, por diferentes intérpretes, com a utilização de imagens landsat e cbers em lavras, MG. **Rev. Ciênc. Agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 649-656, maio/jun., 2005.

JENSON S. K. AND J. O. DOMINGUE. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54 (11): 1593-1600. 1988.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: Tucci, C. E. M. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre. UFRGS: ABRH, 2001. Cap.2, p.35-51.

SILVA, C. L. Análise estatística das características da vazão do córrego Capetinga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.311-317, 2003.

ROCHA, J.S.M.; KURTZ, S.M.J.M. Curso de Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas: aplicações técnicas avançadas em diagnósticos físicos conservacionista, sócio-econômico, ambiental. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2003, 452p.

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*, New York, v.112, n.9, p.3469-3481, 2008.

RIBEIRO, G. do N., TEOTIA, H. S.; MARACAJA, V. P. B. B.; BARRO, D. F.; Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal no Agreste Paraibano: Municípios de Pocinhos e Puxianã. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.21, n. 2, p. 231-244, mai/jun de 2008.

TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSSEN, W. G. M. AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low- Middle São Francisco River basin, Brazil Part B: Application to the large scale. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.149, p.477-490, 2009.

LUEDELING, E.; SIEBERT, S.; BUERKERT, A. Filling the voids in the SRTM elevation model - A TIN-based delta surface approach. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, New York, v.62, n.4, p.283-294, 2007.

LOPES, H. L.; CANDEIAS, A. L. B.; ACCIOLY, L. J. O.; SOBRAL, M. do C. M.; PACHECO, A. P. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.1210-1219, 2010.

TUCCI, C. E.; SILVEIRA, A.L.L. Hidrologia: Ciência e aplicação. 3ª ed. 1ª reimpressão, Porto Alegre: **Ed. da UFRGS/ABRH**, 2004. 943 p.

TORRES, J.L.R; FABIAN, A.J.; SILVA, A.L.; PESSOA, E.J.; SILVA, E.C.; RESENDE, E.F. Diagnostico ambiental e análise morfométrica da microbacia do córrego Lanhoso em Uberaba – MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia v.9, n.25, p.1-11, mar/2008.

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

GARDA, E. C. Atlas do meio ambiente do Brasil. 2.ed. Brasília: Terra Viva/EMBRAPA, 1996. 138p.

GONÇALVES, A. K.; SILVEIRA G. R. P DA.; BARROS Z. X.; CAMPOS S. Métodos de Classificação Supervisionada de Imagens de Satélite aplicadas no Mapeamento do Uso do Solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio, São Manuel, SP. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, número especial (1), p. 52 – 62, Out. 2015.

GOBBI, A. F.; TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J. Diagnóstico ambiental da microbacia do córrego do Melo em Uberaba- MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, MG, v.9, n.26, p.206-223, 2008.

ZANATA, M.; PISSARRA, T. C. T.; ARRAES, C. L.; RODRIGUES, F. L.; CAMPOS, S. Influência da escala na análise morfométrica de microbacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.10, p.1062–1067, 2011.

FRANÇA, M.M. Avaliação de Classificações Supervisionadas Com Redes Neurais Artificiais MAXVER para Caracterização do Uso da Terra no Município de Viçosa-MG. Monografia em Geografia. Departamento de Artes e Humanidades da Universidade Federal de Viçosa, 2007.

CONGALTON, R.G. A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Bethesda. 54, 1669-1671, 1992.

ESPINOZA, H. F.; ABRAHAM, A. M. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para o estudo dos recursos hídricos em regiões costeiras. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12. 2005. Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 2487-2494. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.20.24.27/doc/2487.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2006.

LEITE, M.R.; BRITO, J.L.S. Avaliação de desempenho do Algoritmo Sebal na modelagem térmica da bacia do Rio Vieira no norte de Minas Gerais. Revista Brasileira de Cartografia, v. 65, n. 1, p. 161-174, 2012.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME <<http://www.ceara.gov.br/?secretaria=FUNCEME&endereco=http://www.funceme.br/>> Acesso em 08 abr, 2015.

CONGALTON, R.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data - Principles and Practices**. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009. 183 p.

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, v.30, p.241- 248, 2006.

SANTOS, Roberto Diego Bezerra. **Dinâmica espaço-temporal (1990- 2010) do Uso da Terra no Município de Seropédica, RJ, Determinado por Classificação Automatizada**. 2013. 22 p. Trabalho de conclusão de Curso (Monografia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D.F. TOPODATA: Seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM. São José dos Campos: INPE, 2009.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1997. 245p.