



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO**  
**CURSO DE AGRONOMIA**

**YVES KLAVDIAN VIEIRA RODRIGUES VASCONCELOS**

**AVALIAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA MICROBACIA DO AÇUDE  
DE GENERAL SAMPAIO ATRAVÉS DO SENSORIAMENTO REMOTO**

**FORTALEZA**

**2019**

YVES KLAVDIAN VIEIRA RODRIGUES VASCONCELOS

AVALIAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA MICROBACIA DO AÇUDE DE  
GENERAL SAMPAIO ATRAVÉS DO SENSORIAMENTO REMOTO

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia. Área de concentração: Sensoriamento Remoto e Solos.

Orientador: Prof. Dr. Raul Shiso Toma.

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- V451a Vasconcelos, Yves Klavdian Vieira Rodrigues.  
Avaliação do uso e ocupação do solo na microbacia do açude de General Sampaio através do sensoriamento remoto / Yves Klavdian Vieira Rodrigues Vasconcelos. – 2019.  
52 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2019.  
Orientação: Prof. Dr. Raul Shiso Toma.
1. Manejo de bacias. 2. Hidrologia. 3. Qualidade de água. 4. Recursos Hídricos. 5. Geotecnologias. I. Título.

CDD 630

---

YVES KLAVDIAN VIEIRA RODRIGUES VASCONCELOS

AVALIAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA MICROBACIA DO AÇUDE DE  
GENERAL SAMPAIO ATRAVÉS DO SENSORIAMENTO REMOTO

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia. Área de concentração: Sensoriamento Remoto e Solos.

Aprovado em: 27 / 11 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Raul Shiso Toma (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Márcio Regys Rabelo de Oliveira  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Cemila Pansera  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A minha mãe Maria Orleane Vieira.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a minha mãe Maria Orleane Vieira Rodrigues por sempre ter apoiado minhas decisões, dedico a essa mulher todas as conquistas da minha vida, pois ela me inspira diariamente a começar meu dia e lutar sempre.

Ao meu pai Marco Antonio Rodrigues Vasconcelos por ter me inspirado a ser a pessoa mais humana que eu poderia ser, um homem à frente do seu tempo e exemplo na sua profissão, um professor que exerce a educação com amor.

A presidenta Dilma Vana Roussef por ter sancionado a lei de cotas de acesso as universidades e institutos do governo federal, uma política pública que sem ela eu não teria tido a oportunidade de conquistar o acesso à universidade pública. Além de ser um exemplo de força e resistência, sem dúvidas é uma das grandes mulheres que me inspirou.

Aos meus irmãos: Krisyane Vieira, Marco Antônio, Giancarlo Lucciane, Marco Vicenzi, Evelline Figueiredo; e sobrinhos: Kalyel Vieira, Aaron Vieira, Marione Klavdia e Vitória Valentina, todos por serem pessoas construtivas no meu caminhar, e em especial meu irmão Krisnamourt da Silva por ter sido um parceiro que sempre me apoiou e esteve ao meu lado ao longo dessa graduação.

A Universidade Federal do Ceará por ser essa instituição com uma competência ímpar em formar grandes profissionais e nos dar plataformas para ter a formação mais humana possível.

Ao Departamento de Ciências do Solo por ter me dado a oportunidade de encerrar meu ciclo na graduação nesse ambiente que foi um dos mais acolhedores no qual fui recebido nessa estada na UFC.

Aos professores que me marcaram positivamente ao longo dessa graduação e me fizeram amar escolher Agronomia: Professor Carlos Alexandre, Professora Miriam Cristina, Professor Alecsandro, Professor Lamartine e em especial ao meu orientador Professor Raul Shiso Toma por ter aceitado a missão de me orientar nesse processo tão longo e árduo, compartilhar vivências e conhecimento e ter tido paciência e empatia nessa etapa agora superada.

Ao meu namorado Vinícius Ferreira que nesse último ano dividiu e aceitou essa missão árdua de compartilhar os sufocos que a jornada de um TCC proporciona, e me mostrou a forma mais linda de se lutar para conquistar meu espaço, a luta através do amor.

Aos meus amigos que foram imprescindíveis para suportar essa jornada, em especial aquelas mulheres incríveis que estiveram ao meu lado nesses 6 anos de caminhada,

Caiala Mariana, Ana Virgília e Jade Freitas, por terem me ajudado em várias etapas e por me apoiarem sempre nas minhas escolhas.

As mães postiças que eu arrumei ao longo dessa caminhada que me possibilitaram muitas coisas, inclusive me sentir pertencente a essa profissão, as minhas grandes amigas Altagracia Quixadá e Vera Freitas.

Aos meus companheiros de Centro Acadêmico, de tantas lutas que por muitas vezes seguraram minha mão e me trouxeram de volta ao curso de agronomia: Glauber Pontes, Daniel Lima, Beatriz Maia, Neto Forte, Melina Souza, Ana Vitória, Ruggeri Mariano, Anderson Aguiar, Gabriel Campelo, Leonardo Oliveira, Maria Alice, Daniele Martins, Luiza Rayol, Rômulo César e Ana Vitória Feijó.

Aos meus amigos que sempre foram torcedores e por muitas vezes me ajudaram na conquista dessa vitória: Sanny Aguiar, Nágila Tatielle, Carlos Henrique, Amanda Vidal, Janaína Medeiros, Cícera Manuele, Gabriela Meneses, Tainan Tavares, Alanna Secundino, Ramon Barbosa, Cezar Weyne, Vitória Régia, Maria Beatriz e em especial ao Bruno de Castro por muitas vezes acreditar na minha capacidade, mesmo quando duvidei disso, pela disponibilidade, pela mão estendida, ele representa o melhor que pode existir dentro da relação de uma amizade.

A orientadora de estágio Socorro Muniz que me enxergou em um momento muito delicado e me proporcionou uma continuidade no curso de agronomia, a senhora se tornou uma pessoa ímpar na minha jornada e estará sempre marcada nesse processo, uma grande amiga.

Aos meus professores do ensino básico que fundamentaram toda a minha caminhada até a tão sonhada graduação, eu sou um aluno vindo da escola pública e ultrapassando todas as dificuldades que existem num país tão desigual quanto o Brasil, dedico essa conquista para aqueles que me proporcionaram sonhar, inclusive por um mundo melhor, Tia Nice, Tia Lidu, Tia Yolanda, Professor Alencar, Mazio Cassiano, Nélia Costa, Cristina Gomes, Josi Sampaio, Carol Braga, Milton Gadelha e em especial ao professor Tom Barros, um educador ímpar nessa jornada do ensino básico que sabe assim como todos citados aqui exercer com a maior paixão a arte de Educar.

Aos secretários do curso de agronomia, Fabiana e Moisés pelo auxílio que me deram ao longo dos 6 anos de curso, dois profissionais que se dedicam de uma maneira muito gentil a função que possuem na universidade.

## RESUMO

O uso e ocupação do solo é uma fonte direta de interação com os recursos hídricos de uma região, principalmente por ser uma área de contribuição de sedimentos, e exatamente por isso as Áreas de Preservação Permanente são ferramentas para que tenha a proteção e conservação dos ambientes que envolvem um recurso hídrico. O presente trabalho constitui em utilizar ferramentas de geoprocessamento para classificar o uso e ocupação do solo da bacia do açude General Sampaio a partir do sensoriamento remoto, e a influência desses usos com a qualidade da água do reservatório. A bacia tem uma área de cerca de 1593,28 Km<sup>2</sup>, tendo o rio Curu como principal coletor d'água, e foram utilizadas imagens do satélite Landsat para classificar o uso e ocupação dessa área, tendo os anos estudados de 1997, 2007 e 2017 abrangendo um período de 20 anos de temporalidade. A identificação foi feita com o software QGIS 2.18.0 e a extensão Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), com o auxílio dessas ferramentas a classificação foi subdivida em 6 macroclasses (Agricultura, Caatinga, Solo Exposto, Hidrografia, Nuvem e Sombras), onde foram colhidas na etapa de treinamento 10 amostras de cada, e para a análise da classificação foram utilizados o Índice Kappa e a avaliação da Acurácia Global para verificar a qualidade do referido trabalho. Nos 3 anos analisados a predominância de áreas na bacia do foi de Caatinga com uma média dos três anos de 81,58% da área, mas pode-se observar também que as áreas da macroclasse de Solo Exposto estão predominantemente em áreas de mata ciliar, onde pode indicar a presença de atividade humana e também acarretar sérios riscos de uma erosão acentuada no leito dos rios que abastecem o açude. A Acurácia Global encontrada para cada ano foi de 77,83% para o ano de 1997, de 99,63% para o ano de 2007 e de 96,66% para o ano de 2017 e Índice Kappa de 0.59, 0.99 e 0.91 respectivamente para os anos estudados, mostrando que a classificação possui uma proximidade com o que pode ser visto *in loco*. Identificado as ocupações ao longo dos cursos hídricos, e percebendo seus impactos, reforça-se a importância das áreas APPs para não só a preservação do solo, mas também para a manutenção da qualidade da água ao longo do da bacia hidrográfica, necessitando de políticas públicas para que se evitem essas ocupações irregulares, ou políticas voltadas para a recuperação dessas áreas, além de validar a utilização dos softwares de geoprocessamento gratuitos para auxiliar o indicativo dessas áreas.

**Palavras-chave:** Manejo de bacias. Hidrologia. Qualidade de água. Recursos Hídricos. Geotecnologias.

## ABSTRACT

Land use and occupation is a direct source of interaction with the water resources of a region, mainly because it is a sediment contributing area, and that is why Permanent Preservation Areas are tools for environmental protection and conservation involving a water resource. The present work consists in using geoprocessing tools to classify the soil use and occupation of the reservoir General Sampaio basin from remote sensing, and the influence of these uses with the reservoir water quality. The basin has an area of about 1593.28 km<sup>2</sup>, with the Curu River as the main water collector, and Landsat satellite images were used to classify the use and occupation of this area, having the studied years 1997, 2007 and 2017. covering a period of 20 years of temporality. The identification was made with the software QGIS 2.18.0 and the extension Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), with the aid of these tools the classification was subdivided into 6 macroclasses (Agriculture, Native Forest, Exposed Soil, Hydrography, Cloud and Shadows), where 10 samples of each were collected in the training stage, and for the classification analysis, the Kappa Index and the Global Accuracy evaluation were used to verify the quality of this work. In the 3 years analyzed the predominance of areas in the Caatinga basin with an average of 81.58% of the area, but it can also be observed that the areas of the Exposed Soil macroclass are predominantly in riparian forest areas, where it can indicate the presence of human activity and also carry serious risks of a sharp erosion in the rivers that supply the dam. The Global Accuracy found for each year was 77.83% for 1997, 99.63% for 2007 and 96.66% for 2017 and Kappa Index of 0.59, 0.99 and 0.91 respectively for the years studied, showing that the classification is close to what can be seen on the spot. Identifying the occupations along the watercourses, and realizing their impacts, reinforces the importance of the APPs areas not only for the preservation of the soil, but also for the maintenance of the water quality along the watershed, requiring public policies. to avoid these irregular occupations, or policies aimed at the recovery of these areas, and validate the use of free geoprocessing software to assist the indicative of these areas.

**Keywords:** Watershed management. Hydrology. Water quality. Water resources. Geotechnologies.

## SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO .....	9
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
2.1 – Uso e Ocupação do Solo e seus Impactos no Semiárido Cearense .....	11
2.2 – Legislação sobre a Ocupação no Entorno de Rios e Açudes .....	13
2.3 – Qualidade da Água em Reservatórios Hídricos no Semiárido .....	14
2.4 – Sensoriamento Remoto para Analisar o Uso e Ocupação do Solo .....	16
3 - MATERIAIS E MÉTODOS .....	17
3.1– Área De Estudo .....	17
3.2 – Identificação do Uso e Ocupação do Solo na Sub-Bacia.....	22
3.3 – Pós-processamento da classificação .....	28
4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	30
4.1 – Avaliação do Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Açude General Sampaio.....	30
4.2 – Avaliação da eficiência da classificação.....	38
4.3 – Aplicação das Áreas de App e Avaliação do Uso e Ocupação em Seu Território .....	45
5 - CONCLUSÃO .....	47
REFERÊNCIAS .....	49

## 1 - INTRODUÇÃO

O estado do Ceará está localizado no nordeste brasileiro, possui 98% do seu território inserido no semiárido, uma área equivalente a 146.891Km<sup>2</sup> do estado (SUDENE, 2018), possuindo condições climáticas dominantes de semiaridez, com uma hidrografia ruim em seus amplos aspectos, uma região que historicamente possui períodos de chuvas acima da média e períodos de secas prolongadas.

De acordo com a Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) 5.827.192 de pessoas vivem no semiárido cearense, tendo em vista essa abrangência que o semiárido possui no Ceará a convivência com períodos longos de estiagem se faz natural na história da população que vive nessa área. O período chuvoso no estado é concentrado em 4 meses do ano (fevereiro, março, abril e maio), conhecido como quadra chuvosa, possuindo alguns raros eventos pluviométricos fora da estação chuvosa.

Tendo em vista esse período de chuvas intensas concentrados em quatro meses do ano, é constatado a importância de meios para poder ter disponibilidade hídrica nos oito meses restantes do ano em que não possui precipitações satisfatórias para o abastecimento das cidades e suas populações, e a política de armazenamento de água através da açudagem foi uma das maneiras de intervenções adotadas para essa disponibilidade de água para os habitantes das cidades e do campo, para a criação de animais, para a indústria e para a irrigação na agricultura (PEREIRA NETO, 2017).

A estrutura geológica do Ceará é complexa, onde as rochas do tipo cristalinas ocupam cerca de 85% do estado (IPLANCE, 1995), e isso imprime características que dificultam o acúmulo de águas subterrâneas (aquíferos), e quando há o acúmulo através das fissuras presentes no solo o seu aproveitamento para o consumo humano é prejudicado, pois normalmente essas águas subterrâneas estão salinas e/ou salobras, além de possuírem uma vazão muito pequena. Isso demonstra a importância que os reservatórios hídricos na região semiárida possuem, principalmente pela falta da viabilidade de um outro tipo para armazenar uma grande quantidade de água, mostrando também desafios referentes a disponibilidade hídrica, distribuição dessa água e a sua qualidade.

Um fator de extrema consideração para a qualidade da água nos açudes são os sedimentos que são carregados ao longo da sua bacia de aporte, os diferentes usos e ocupações do solo é um agente muito relevante para avaliar os tipos de sedimentos carregados nos principais córregos e rios que abastecem a barragem. Determinar que tipos de poluentes ou nutrientes que chegam no sistema por meio desses sedimentos é um instrumento para definir

estratégias de manutenção e preservação da qualidade da água. Busca-se identificar na área a ser estudada as alterações antrópicas que detêm uma alta possibilidade de fundear elementos químicos para o reservatório.

No semiárido o uso e ocupação de áreas é limitante por conta das características do clima e do solo, principalmente para as atividades agropecuárias que podem gerar processos predatórios na água e no solo, acarretando assim prejuízos ambientais danosos. Sem a utilização de práticas que conservem esses ambientes, os recursos hídricos já tão escassos no estado do Ceará, podem sofrer com o transporte de materiais para seus leitos e assim ocasionando problemas como o assoreamento de rios e dos reservatórios de água, e em cadeia a diminuição de armazenamento desse recurso, também como resultado o comprometimento da qualidade da água podendo ocasionar problemas de abastecimento ou até mesmo de saúde pública com a utilização do recurso inviável para consumo humano e de animais.

Com o advento das tecnologias de geoprocessamento, a utilização do sensoriamento remoto é atualmente uma das melhores e mais rápidas ferramentas para identificações dessas áreas, além de viabilizarem um melhor monitoramento desses locais, as imagens de satélite possibilitam idealizar ações eficientes que visem preservar melhor o ambiente natural ao longo da bacia.

A Área de Preservação Permanente (APP) é uma das principais ferramentas legais para a proteção e conservação dos recursos hídricos, incluindo toda a sua área de interferência mais próxima. As delimitações dessas áreas permitem uma conservação de uma faixa de influência relevante para o ecossistema que envolve esse recurso hídrico, incluindo funções importantes do ciclo hidrológico como a infiltração e escoamento superficial. A delimitação dessas APP's e a fiscalização através da Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012, o Código Florestal Brasileiro (CFB) se faz extremamente relevante para a conservação do ecossistema que envolve esse recurso hídrico, pois as ocupações e usos irregulares dessas áreas promovem mudanças predatórias nesse sistema, levando conseqüentemente a sua degradação.

Este estudo foi elaborado partindo da seguinte hipótese: i) Os usos e ocupações do solo ao longo da bacia, constitui uma fonte direta de influência no reservatório devido principalmente pelos sedimentos transportados para os leitos dos rios que abastecem o açude. Partindo dessa hipótese, o objetivo geral proposto neste estudo foi avaliar a ocupação da sub-bacia do reservatório General Sampaio (Ceará), identificando a sua influência nas possíveis alterações na qualidade das águas. Os objetivos específicos do presente trabalho foram: Identificar por meio de imagens de satélites o uso e ocupação do solo, e gerar mapas das

principais atividades no entorno do reservatório, principalmente nas Áreas de Preservação Permanente (APP).

## **2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 – Uso e Ocupação do Solo e seus Impactos no Semiárido Cearense**

As ocupações ao longo das microbacias hidrográficas do estado do Ceará foram feitas em sua maioria de maneira muito aceleradas e desordenadas por conta das atividades econômicas ligadas ao campo, sem levar em conta um planejamento para evitar grandes impactos ambientais e sociais ao longo dessas ocupações. Os impactos ligados a agricultura convencional no estado afetam de maneira considerável os solos nessas áreas, muitas vezes por não possuírem uma assistência técnica qualificada a fim de favorecer a cobertura vegetal no solo (PANTALENA, 2012).

A geomorfologia de um ambiente proporciona uma análise espaço-temporal afim de identificar as potencialidades e fragilidades daquele meio, o diagnóstico dessas condições ambientais contribui para destinação ou não das atividades humanas naquele local. As macroestruturas cristalinas juntas as características de semiárido representam atributos difíceis a determinadas atividades nessas regiões, é comum a presença de solos rasos, redes de drenagem formadas predominantemente por rios intermitentes e áreas de vegetações extensivamente recobertos por caatingas. As somas desses diferentes fatores demonstram a importância de um uso e conservação do solo conscientes, tendo em vista que a precarização desses ambientes representa uma acentuação dos processos de degradação como por exemplo os de perda de solos e desertificação (CRISTOFOLETTI, 2001).

A ausência de auxílio técnico acaba por envolver ações de desmatamento, uso do fogo, debilitando assim a proteção do solo e intensificando os processos erosivos, aumentando a produção de sedimentos que possuem como destino final os cursos hídricos. Com o propósito de abrandar esses impactos de uso da terra, é preciso favorecer a produção de fitomassa e contribuir para a redução dessa erosão do solo. O uso incorreto do solo, juntamente com a supressão da vegetação são uns dos principais agentes de fomento dos processos deterioração do solo, a retirada irracional dessa cobertura causa prejuízos ambientais, como a perda de solos férteis, a diminuição da biodiversidade, alteração da qualidade e da dinâmica hídrica e a modificação do microclima (PANTALENA, 2012).

A erosão possui efeitos muito adversos no solo, como a sua deterioração, e no semiárido nordestino esse evento é um dos maiores fatores de danos ao ambiente. Um dos principais danos ambientais relacionados a erosão são os assoreamentos de rios e poluição dessas fontes de água (COGO et al., 2003). A combinação dos fatores edafoclimáticos (SANTOS et al., 2016) com o uso da terra sem adoção de práticas conservacionistas contribui para a perda de solo. A densidade e o grau de compactação do solo, reduz a porosidade, a estabilidade dos agregados e principalmente a taxa de infiltração, promovendo o aumento da erodibilidade do solo, e uma das principais causas dessa compactação está relacionado com o pisoteio realizado pelos animais. (ISLAM E WEIL, 2000).

A perda de solo através da erosão hídrica é o principal atenuante de danos e transporte dos nutrientes para os mananciais superficiais de água, podendo aumentar o risco de assoreamento e a taxa de eutrofização desses sistemas, sendo o principal agente de poluição difusa (BERTOL et al., 2007; CARPENTER et al., 1998).

A cobertura do solo é um fator decisivo nos processos erosivos (SILVA, 2004), bem como parâmetros específicos tais como umidade inicial do solo, compactação por maquinaria pesada (ROBICHAUD; WAGENBRENNER; BROWN, 2010; WAGENBRENNER; ROBICHAUD; ELLIOT, 2010) e efeito hidrofóbico (DOERR et al., 2009). A cobertura vegetal atenua os impactos das gotas de chuva, diminui a velocidade do escoamento superficial e minimiza perdas, como as de água e de solo (ARAUJO, 2017). Na questão da agricultura irrigada a perspectiva é diferente, pois quando o solo é utilizado para o cultivo de espécies perenes existe indicadores que mostram menores riscos de perdas de solos tecnificados, por representar um uso menos intensivo em comparação com as lavouras, mas esse tipo de agricultura indica uma maior utilização de insumos (fertilizantes e defensivos) que, se aplicados de maneira incorreta representam riscos ainda maiores de contaminação para os reservatórios hídricos (RAMALHO-FILHO; BECK, 1995).

Identificar o uso desses solos, as suas ocupações e a influência que eles exercem no aporte de sedimentos a uma determinada bacia, são ferramentas de suma importância para definir estratégias de recuperação, conservação e manejos alternativos às formas degradativas de uso da terra que são mais vulneráveis aos processos erosivos (BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, 1990).

## 2.2 – Legislação sobre a Ocupação no Entorno de Rios e Açudes

A Lei Federal Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 é a principal legislação sobre ocupações e uso dos solos no entorno de recursos hídricos, o CFB sofreu alterações consideráveis no ano de 2012, entre elas uma das principais atualizações foi sobre a normatização de Áreas de Preservação Permanente (APPs) das faixas ladeais dos cursos d'água, essas APPs têm como principal função a proteção desses recursos. As matas ciliares exercem funções hidrológicas imprescindíveis para manter a integridade do ecossistema (RODRIGUES et al., 2011).

Dentre as funções hidrológicas das APPs, destacam-se diminuição e filtração do escoamento superficial, contenção de ribanceiras, e impedir o carreamento de sedimentos para o recurso hídrico (LIMA; ZAKIA, 2000). Além de se tratar de uma zona fundamental para a preservação da qualidade da água (COELHO, BUFFON E GUERRA, 2011).

As interferências humanas como a abertura de novas fronteiras agrosilvopastoril e o desmatamento, são práticas que possuem um efeito adverso para o meio ambiente, como o assoreamento dos cursos hídricos, a degradação das matas ciliares e dos solos, e a perda de biodiversidade (CRIVELENTI et al., 2014).

Um dos atributos ambientais de maior importância das APPs é a de proteger o solo, com a vegetação marginal preservada nesses cursos d'água, ela tem como função filtrar e evitar que as impurezas cheguem aos corpos hídricos e, ao mesmo tempo, protegem a nutrição natural daquele solo, tendo em vista que as camadas mais superficiais são onde concentram a maior quantidade de matéria orgânica. A mata ciliar é uma das principais ferramentas naturais para evitar a erosão, suspendendo o que poderia provocar o assoreamento dos rios e agravamento de enchentes (MMA, 2011).

Nos lugares de relevo acentuado a manutenção da mata nativa evita que em períodos de chuvas fortes as mais camadas superficiais do solo sejam carregadas leito dos rios e nascentes, o que pode vir afetar de maneira negativa a fertilidade dos solos e também o assoreamento dos recursos hídricos (BERTOL, I.; ROGO, N.P.; LEVIEN, R., 1989).

O Código Florestal aprovado em 2012 prevê que nas faixas marginais aos corpos hídricos consideradas como APPs, vão variar de acordo com a largura do curso da água, medida a partir da borda da calha do seu leito regular, podendo ir de 30 a 500 metros de largura da área de preservação, independente da perenidade ou não desses rios. No caso dos reservatórios destinados à geração de energia elétrica ou abastecimento público, as APPs deverão ser definidas no ato do licenciamento ambiental, no entanto precisarão obedecer que

nas áreas urbanas a largura da faixa esteja entre 15 e 30 metros, e nas zonas rurais estejam entre 30 e 100 metros. Se esses reservatórios artificiais de água destinados a geração de energia ou abastecimento público foram registrados antes de 2001, ou tiveram seus contratos de concessão ou autorização assinados anterior a essa data, a faixa da Área de Preservação Permanente será a distância entre o nível máximo operativo normal e a cota máxima do corpo hídrico, já que ainda a Medida Provisória nº 2.166-67 foi oficializada nesse mesmo ano (BRASIL, 2012).

### **2.3 – Qualidade da Água em Reservatórios Hídricos no Semiárido**

As atividades antrópicas que substituem a vegetação nativa em uma bacia de drenagem, geralmente ocasiona um aporte de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, influenciando diretamente na qualidade da água destes ambientes. O semiárido do Nordeste brasileiro não foge a esta regra, pois possuem solos ‘jovens’, que são ainda mais susceptíveis a erosão, o que pode ajudar a agravar o problema (VALLADARES, G.; GUIMARÃES, M.; BATISTELLA, M., 2002).

A qualidade da água de um corpo hídrico e o aporte de sedimentos que chega até ele, está diretamente relacionada com o tipo de uso e ocupação ao longo dessa bacia hidrográfica, o tipo de relevo, tipos de solo e o clima (VON SPERLING, 2005; SANTOS et al., 2016). Os ambientes aquáticos, terrestres e atmosféricos, encontram-se relacionados por meio das interações do ciclo hidrológico que ocorrem na bacia. Tendo em vista essa integração que ocorre ao longo de uma bacia, as consequências das alterações do uso da terra não se restringem apenas ao solo, podendo estender-se também para os sistemas hídricos, sejam as águas superficiais ou subterrâneas (MOURI, 2015).

Só no estado do Ceará a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) monitora 155 açudes diariamente, devido ao clima da região cearense a construção de reservatórios para o barramento de cursos hídricos foi uma das principais formas para o desenvolvimento de populações no semiárido cearense, sendo essencial para agricultura no interior do estado e o abastecimento humano das populações interioranas e da capital (COGERH, 2018).

Os reservatórios são utilizados para diversas finalidades, e a forma de ocupação do solo no entorno desses açudes representam grandes valores sociais, econômicos e culturais. O uso desse solo de forma inadequada leva ao aporte de cargas de nutrientes (BARBOSA et al. 2012) que podem causar a eutrofização (SANTOS et al., 2016; ESTEVES, 1998), e a

erosão através dessa carga de sedimentos comprometem também a capacidade de armazenamento dos reservatórios (ARAÚJO; GÜNTNER E BRONSTERT, 2006).

De acordo com Araújo, Güntner e Bronstert (2006), os reservatórios do semiárido brasileiro tiveram a capacidade de armazenamento reduzida em 0,2% ao ano. Possuir um recurso hídrico subterrâneo limitado, solos rasos e secas recorrentes, são características fundamentais na região semiárida, se tornando mais um agravante a essa convivência no semiárido. Esse quadro representa a vulnerabilidade da região no que diz respeito aos recursos hídricos (ARAÚJO; GÜNTNER E BRONSTERT, 2006).

Eventos extremos como secas prolongadas e chuvas torrenciais são mudanças climáticas que diretamente alteram a disponibilidade e qualidade da água nesses reservatórios. E a eutrofização é um dos principais produtos dessa alteração de qualidade da água, ela consiste no enriquecimento da água por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, acarretando no crescimento excessivo das plantas aquáticas (CARPENTER et al. 1998), desequilíbrio do ecossistema aquático e degradação da qualidade da água desses corpos hídricos (BARBOSA et al. 2012).

A eutrofização artificial é um processo que pode tornar um corpo d'água inaproveitável para o abastecimento, para a geração de energia, e para o uso como área de lazer (ESTEVES, 1998). Além disso a eutrofização é nociva à saúde das pessoas que possuem abastecimento desses corpos hídricos, a água não pode conter substâncias tóxicas e microrganismos patogênicos. Portanto, faz-se necessária a realização de análises laboratoriais em vários pontos do corpo aquático para a verificação da qualidade da água, onde devem ser investigados os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos (COGERH, 2007).

A fiscalização do entorno da bacia de um açude se faz necessária visando um controle maior do uso e ocupação desses solos para evitar a contaminação difusa desse corpo hídrico. Essa poluição dificulta o abastecimento e encarece a distribuição da água, tendo em vista que o corpo hídrico eutrofizado requer um tratamento dessa água para o consumo humano. Quando se une a ocupação irregular, o assoreamento do açude e eventos extremos como a seca, possui-se um panorama preocupante em relação ao abastecimento hídrico, principalmente ligados não só a disponibilidade d'água, mas também aos impactos gerados pela qualidade da água na saúde das populações (PERDIGÃO, L.; VIEIRA, E.; MONTE-MOR, R.; PEREIRA, P; BONFIM, A. 2013).

## 2.4 – Sensoriamento Remoto para Analisar o Uso e Ocupação do Solo

A identificação de poluentes difusos ao longo da bacia é de extrema importância, haja vista que em alguns trabalhos já foi constatado que a poluição de fontes não pontuais provenientes de atividades agrícolas tem sido a maior ameaça para a qualidade da água nos últimos anos (ARHONDITSIS et al., 2000; ONGLEY et al., 2010).

O monitoramento de áreas muito grandes representa um custo elevado, principalmente quando se deseja conhecer os processos que ocorrem em uma bacia de drenagem e suas relações com a qualidade de água (ARAÚJO, 2017). O tipo de ocupação do território pode indicar o potencial de contaminação desses reservatórios, e isso tem levado o interesse dos governos por estudos nessa área, já que analisando e interpretando uso e a ocupação desse solo, e da dinâmica geoambiental desse sistema, colaboram de maneira eficiente para o conhecimento profundo de uma região (MEDEIROS; PETTA, 2004).

As geotecnologias são produtos dessa demanda para que haja um conjunto de tecnologias para coletar, processar, analisar os dados com referencial geográfico. Elas são compostas por soluções em hardware, software que constituem uma ferramenta poderosa para tomada de decisões. O sensoriamento remoto é um destaque entre essas geotecnologias (ROSA, 2005).

A utilização de técnicas do sensoriamento remoto para analisar a cobertura e utilização do solo, vem sendo bastante importante e eficiente para o controle das atividades ao longo da bacia que possam vir prejudicar na disponibilidade e qualidade da água desse açude. O monitoramento de áreas já vem sendo bastante utilizadas atualmente e essas técnicas permitem um resultado legítimo, econômico e rápido (OLIVEIRA, P.; SILVEIRA, J.; SEABRA, V., 2014)

O objetivo da utilização do sensoriamento remoto na identificação dos usos do solo é exatamente estudar objetos ou regiões na superfície terrestre sem entrar diretamente em contato com eles (ERBERT, 2001). O sensoriamento remoto é capaz de identificar a vegetação, culturas agrícolas (GUERRERO et al., 2012), solos (GALVÃO et al. 2008; VASQUES et al., 2014; SOUZA et al., 2010) formações rochosas e corpos de água (SILVA et al., 2013; MESQUITA et al. 2013).

Classificar as imagens obtidas através do sensoriamento remoto, é um processo essencial na extração de informações dessas imagens, visando reconhecer padrões e objetos homogêneos com o objetivo de mapear as áreas da superfície terrestre. Cada cor é associada a uma classe, que está associada às propriedades espectrais e espaciais destas imagens. Um dos

métodos de classificação dessas imagens é a classificação supervisionada, onde as classes são previamente definidas pelo analista através de amostras de “referência” (ARAÚJO, 2017).

Na literatura é possível encontrar diversos métodos da classificação supervisionada, por exemplo, o da máxima verossimilhança que é um dos classificadores mais aplicados no tratamento de dados provenientes do sensoriamento remoto (SOUSA et al., 2007).

Em atividades agrícolas essa classificação apresenta características que interferem diretamente na identificação dessas imagens, pois diferentemente dos ambientes naturais, as áreas agrícolas sofrem uma influência muito considerável de atividade antrópica. Essa influência de certa forma ajuda a identificar os diferentes usos e ocupações desses solos nessas imagens obtidas pelos sensores, já que essas atividades atribuem um aspecto relativamente regular nessas áreas, por conta de um plantio mais mecanizado e um calendário agrícola que facilita na identificação dos limites dos alvos agrícolas nas imagens (LUIZ, 2003).

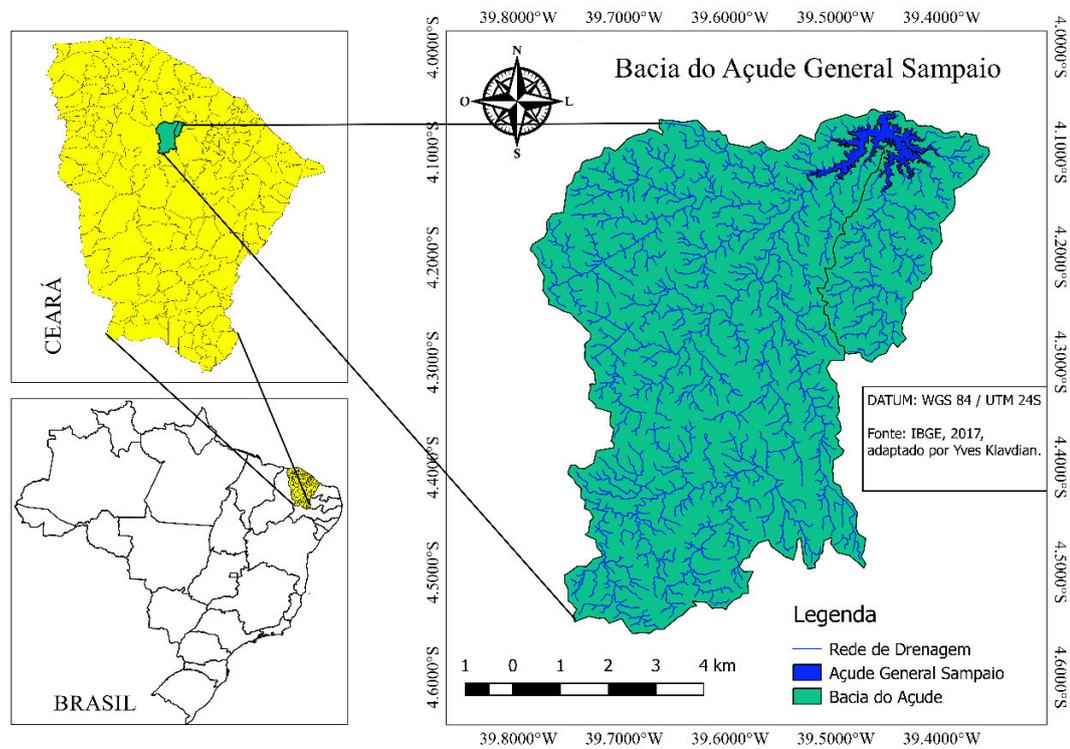
### **3 - MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1– Área De Estudo**

A área de estudo compreende a Bacia do Açude General Sampaio (Figura 01) que se estende ao longo dos municípios de General Sampaio, Paramoti e Canindé no estado do Ceará. Situa-se na região do Vale do Curu e no norte do Sertão de Canindé, na Bacia do Curu, cerca de 130km de Fortaleza.

A Sub-bacia do açude General Sampaio foi delimitada a partir do barramento do açude, assim possui uma área de cerca de 1593,28 Km<sup>2</sup>, e o rio Curu é o principal coletor d'água nessa micro bacia e possui em sua extensão dentro dela de aproximadamente 40Km.

**Figura 01 – Localização Geográfica da micro bacia do açude General Sampaio**

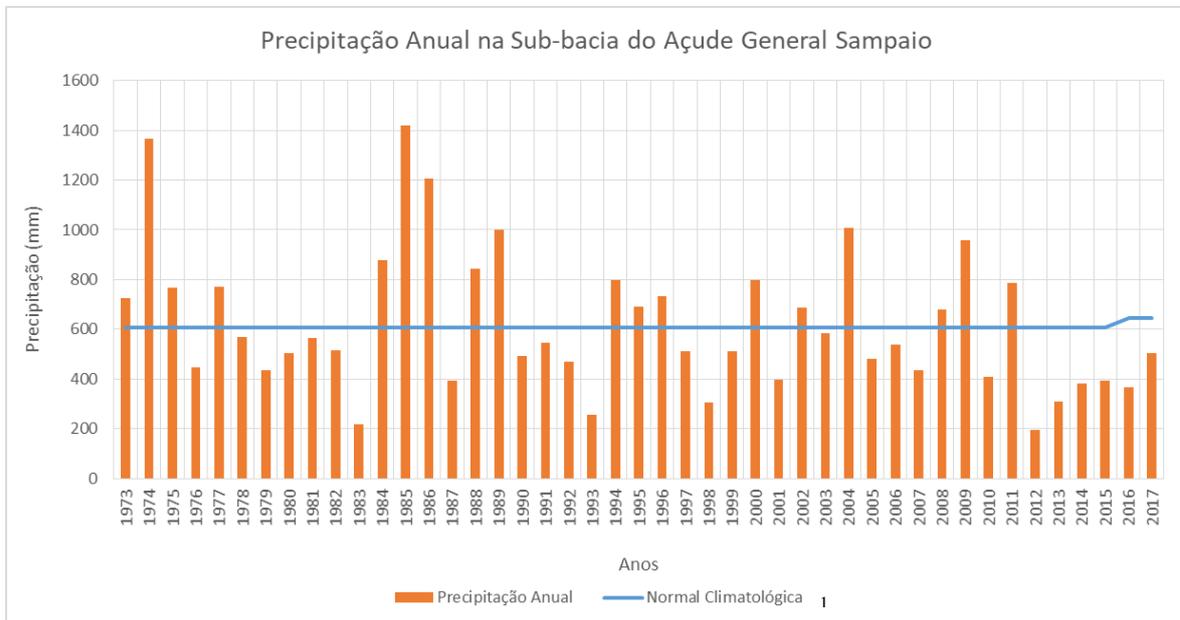


Fonte: Autor.

O clima predominante na região da Sub-bacia é **BSh** considerado como semiárido quente de acordo com a classificação de Köppen, e um clima Semiárido de acordo com a classificação de Thornthwaite (MUNIZ, 2017). As temperaturas médias anuais, ficam em torno de 27,3°C, a média no período mais quente é de 30,8°C e no período mais frio é de 24,6°C.

A pluviometria anual é de cerca de 1150mm, com uma precipitação média na Sub-bacia é de aproximadamente 619,33 mm, com chuvas concentradas nos meses de janeiro a maio, sendo o mais chuvoso abril (FUNCEME, 2019), na Figura 02 pode-se visualizar a precipitação na Sub-bacia do açude General Sampaio ao longo de 45 anos (1973-2017).

**Figura 02 – Precipitação Anual da Sub-bacia do açude General Sampaio (1973-2017)**



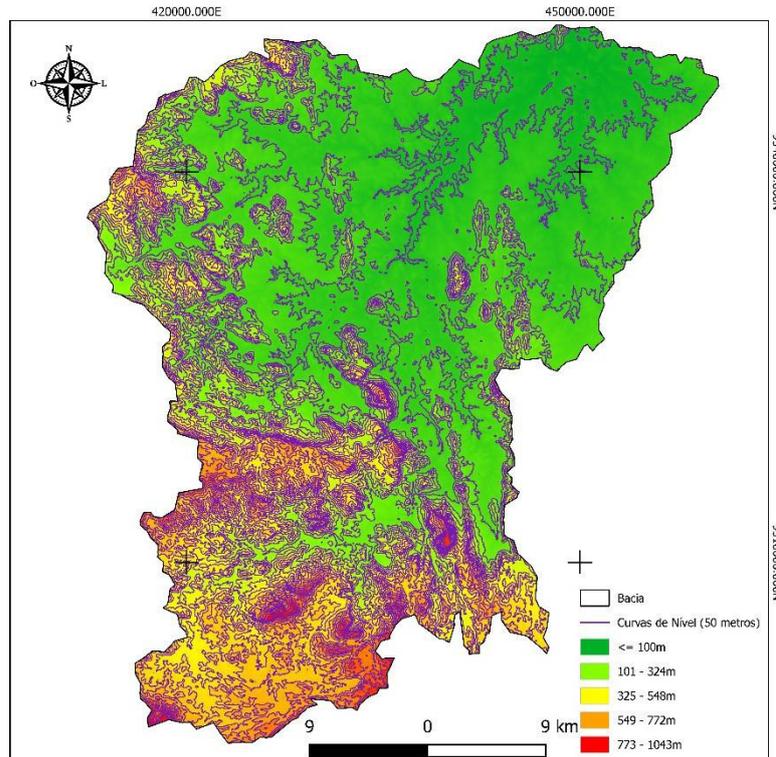
Fonte: FUNCEME (2019), adaptado por Yves Klavdian (2019).

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM) define-se como Normal Climatológica os valores médios calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas e padrões climatológicos normais como médias de dados climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 anos (INMET, 2019).

A bacia do referido açude possui uma altitude mínima de 107m e uma máxima de 1043m, na Figura 03 pode-se ver essa diferença de altitude exemplificada no mapa gerado e suas curvas de nível com valores de 50m.

<sup>1</sup> Em janeiro de 2016, a normal climatológica adotada no calendário de chuvas passou a considerar os dados do período 1981 a 2010.

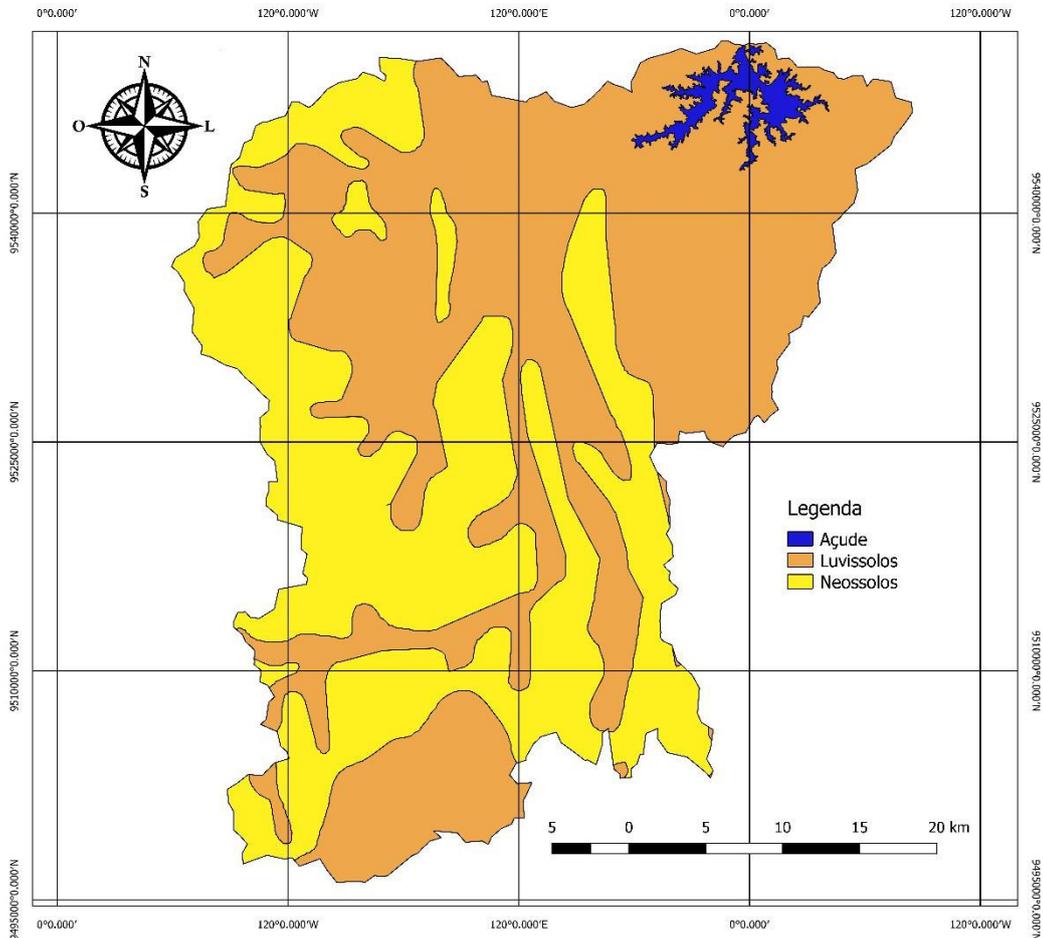
**Figura 03 – Altitude da Sub-bacia do açude General Sampaio.**



Fonte: Autor.

O barramento do açude General Sampaio está localizado no município de mesmo nome, com uma área de açude que se estende aos municípios de General Sampaio e Paramoti, o seu reservatório possui uma capacidade máxima de 322.200.000m<sup>3</sup>, sendo o 9º maior açude do estado, mostrando a importância que tem no suprimento hídrico do estado do Ceará. As classes de solos presentes ao longo da Bacia são representadas na Figura 04, onde podemos ver a predominância de 2 classes de solos, sendo elas LUVISSOLOS e NEOSSOLOS.

**Figura 04 – Classes de Solos da Sub-bacia do açude General Sampaio.**



Fonte: FUNCEME (ANO), adaptado por Yves Klavdian (2019).

Os LUVISSOLOS são compostos por materiais minerais, apresentando nos seus primeiros 100 cm do horizonte B, um horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação por bases alta imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A (exceto A chernozêmico) ou sob horizonte E, e satisfazendo os requisitos de que se for constatada a presença dos horizontes plânico, vértico e plúntico, mas não satisfazendo aos parâmetros para serem Planossolos, Vertissolos e Plintossolos, respectivamente, ou seja, não são conformes com a parte superficial do horizonte B textural.

Já os NEOSSOLOS representam solos pouco evoluídos, formados nos seus primeiros 20 cm de espessura por materiais minerais ou por materiais orgânicos, não apresentando nenhum tipo de horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2018).

### 3.2 – Identificação do Uso e Ocupação do Solo na Sub-Bacia

A identificação do uso e ocupação do solo ao longo da Sub-bacia do açude General Sampaio foi obtida com auxílio de imagens de satélite que na sequência foi feita a sua classificação espectral. Foram adotados os seguintes procedimentos metodológicos: Para o mapeamento do uso e ocupação dos solos foram utilizadas imagens de satélites (Figura 05), oriundas do satélite Landsat 5 sensor TM (Thematic Mapper) de 7 bandas espectrais e do Landsat 8 sensor OLI (Operational Land Imager) de 11 bandas espectrais. Essas imagens foram adquiridas gratuitamente no site da United States Geological Survey – USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), com uma resolução espacial de 30 metros.

Foram utilizadas imagens dos anos de 1997, 2007 e 2017, obtendo uma imagem por cada ano. As datas de passagens do satélite pela área escolhida foram: 19 de junho de 1997, 18 de agosto de 2007 e 26 de junho de 2017. Os anos foram escolhidos de acordo com as melhores cenas encontradas que pudessem fazer uma análise temporal boa, as cenas que continham muitas nuvens prejudicariam realizar as análises. Essas cenas foram escolhidas por abrangerem a mesma época do ano, pois o índice foliar pode alterar as respostas espectrais, levando em consideração a precipitação no local. Na cena de 2007 foi utilizada a imagem de agosto, pois a de junho continha muita nebulosidade.

Figura 05 – Imagem do Landsat 8-OLI (Banda 07R – Banda 06G – Banda 04B) 26 de junho de 2017



Fonte: USGS (2017), adaptado por Yves Klavdian (2019).

Após a classificação espectral foi realizada no programa QGIS versão 2.18.0, a classificação supervisionada das imagens do Landsat 5 (anos de 1997 e 2007) e 8 (ano de 2017) com a extensão Semi-Automatic Classification Plugin (SCP), sendo utilizada a estimativa de máxima verossimilhança. Com o auxílio dessa extensão foi feita uma classificação supervisionada com 6 Macroclasses e 6 Classes, fazendo 10 amostras de cada Macroclasse totalizando ao final da mesma 60 amostras (Tabela 01).

**Tabela 01 – Macroclasses e Classes da Classificação Supervisionada no SCP**

MACROCLASSES		CLASSES	
Número	ID	Número	ID
01	Agricultura	01	Agricultura
02	Caatinga	02	Caatinga
03	Solo	03	Solo Exposto
04	Hidrografia	04	Açude
05	Nuvem	05	Nuvem
06	Sombras	06	Sombra de Nuvem

Fonte: Autor.

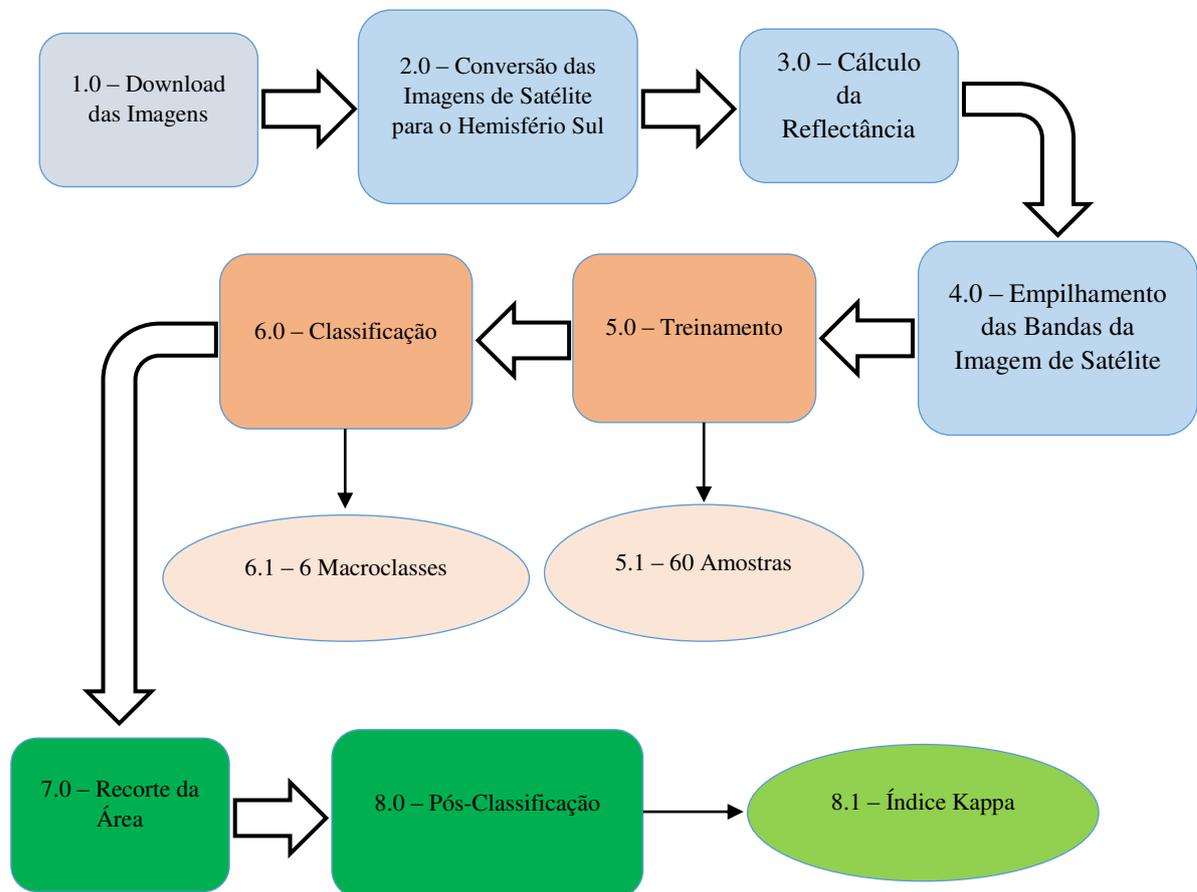
As Macroclasses são utilizadas para fazer uma identificação geral do produto a ser gerado, e a Classe é mais específico como podemos ver na Tabela 01 na Macroclasse 06, onde a mesma é Sombras, mas em sua classificação específica (Classe) é Sombra de Nuvem. Assim foi gerado um mapa com os usos e ocupações do solo ao longo da Sub-bacia de acordo com a classificação.

A classificação foi dividida em etapas como observa-se no fluxograma da classificação que foi adicionada na ordem de execução (Figura 06), separando-se as ações em Pré-processamento (azul claro), Classificação (vermelho claro) e Pós-processamento (verde). Os processos foram todos realizados no software QGIS e algumas das etapas na extensão SCP.

Na etapa de pré-processamento foram realizados os downloads das imagens de satélite, e a conversão das mesmas para o Datum<sup>1</sup> do hemisfério sul (já que originalmente eles vêm com o hemisfério norte).

Outra etapa importante do pré-processamento é o cálculo da reflectância relativa das imagens utilizadas, já que as mesmas vêm com valores em número digital e para obtermos bons valores para o estudo é importante que esses dados estejam em valores de reflectância relativa. Para isso foi utilizada a extensão SCP com o auxílio do arquivo MTL, onde vem todas as informações referentes as imagens a serem trabalhadas, e assim foi possível realizar a conversão das imagens com número digital em imagens com valores de reflectância relativa.

**Figura 06 – Fluxograma da classificação em ordem de execução**



Fonte: Autor.

<sup>1</sup> O DATUM é um termo muito utilizado quando se quer fazer menção ao sistema de referência cartográfico (SANTIAGO & CINTRA, 2018).

Na etapa de classificação é inicialmente feito o treinamento da extensão SCP, onde será realizada as amostras das Macroclasses, no qual identificaremos os pixels referentes a cada uma e assim condicionando a extensão a realizar a classificação em toda a imagem.

As macroclasses identificadas na classificação foram feitas a partir de conhecimentos prévios da região e das respostas espectrais do comprimento de onda da imagem de satélite. Na Figura 07 é exemplificado como foi possível a identificação das amostras de acordo com as macroclasses.

Foram feitas 10 amostras da macroclasse que representa Agricultura, para isso foi feita a identificação de possíveis áreas irrigadas, sendo caracterizada por polígonos de lados bem definidos na imagem de satélite (Figura 07 - Agricultura), através dessas amostras os pixels amostrados como Agricultura foram superestimados para toda cena da imagem.

Na macroclasse de Caatinga foram feitas mais 10 amostras de áreas, nessas foram utilizadas como amostras pixels da imagem de satélite com aspecto rugoso (o mecanismo caducifólio da vegetação do bioma Caatinga representa essa resposta espectral) e também vegetações de grande porte, que são possíveis sua identificação pela resposta espectral num tom de verde mais forte do que em áreas com espécies de menor porte (como áreas de agricultura e pasto) (Figura 07 – Caatinga).

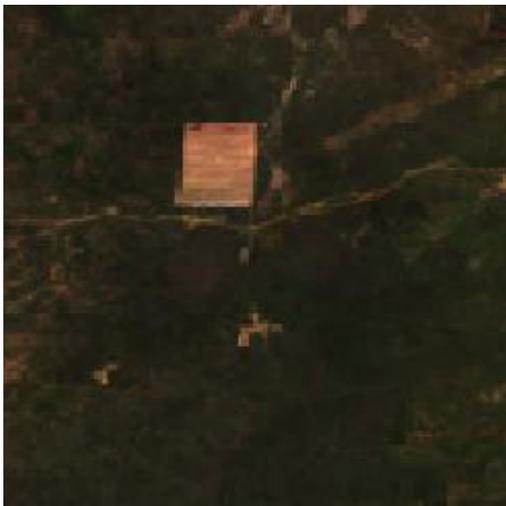
**Figura 07 – Áreas amostradas e resposta espectral (RGB 432) para as Macroclasses**



(Agricultura)



(Caatinga)



(Solo Exposto)



(Hidrografia)



(Nuvem)



(Sombra de Nuvem)

Fonte: Autor (2019).

As áreas da macroclasse de Solo Exposto são identificadas pela resposta espectral mais clara (Figura 07 – Solo Exposto), evidenciando a ausência de qualquer cobertura vegetal, foram feitas mais 10 amostras dessa macroclasse. A água em seu estado natural não reflete a luz irradiada do sol, há uma absorção da mesma, logo a resposta espectral da água no satélite Landsat é negativa, obtendo assim cores mais escuras (Figura 07 – Hidrografia), foram feitas 10 amostras em áreas de açudes conhecidos na cena Landsat escolhida e assim superestimada a classificação para toda a imagem.

Para classificar os pixels que representam a macroclasse de Nuvens foram escolhidas áreas que estavam com alto índice de nebulosidade, essas mesmas quando recebem a luz solar reflete boa parte dessa incidência gerando assim áreas que ficam evidente a presença das nuvens (Figura 07 – Nuvem).

Foram feitas mais 10 amostras desses pixels de nuvem e superestimada para toda a cena da imagem gerando assim áreas que possuíam presença de nuvens. Para a macroclasse de Sombras foram amostradas áreas logo ao lado das nuvens (Figura 07 – Sombra de Nuvem), pois já que há um alto índice de reflexão nas áreas de nuvens, a suas sombras possuem ausência de respostas espectrais, com esses pixels foram feitas mais 10 amostras totalizando 60 nas cenas da imagem Landsat 5 e 8 nos anos de 1997, 2007 e 2017.

Na classificação em si é gerada o mapa classificado de acordo com as Macroclasses que identificamos anteriormente na etapa do Treinamento.

### **3.3 – Pós-processamento da classificação**

No Pós-processamento da imagem é a etapa que se realiza o recorte da área de interesse (bacia do açude General Sampaio), o cálculo da Acurácia e o Índice Kappa, para assim analisarmos se a classificação foi bem executada pelo processamento da imagem.

O índice Kappa se baseia no número de respostas concordantes, mais precisamente, no número de casos cujo resultado é o mesmo daquele que foi classificado previamente, ele avaliará se a classificação realizada pelo autor foi bem executada. Landis e Koch sugerem a seguinte interpretação detalhada na Tabela 02 para o Índice Kappa.

**Tabela 02 – Interpretação do Índice Kappa**

<b>Índice Kappa</b>	<b>Interpretação</b>
< 0	Sem Concordância
0 – 0,19	Concordância Insignificante
0,20 – 0,39	Concordância Mediana
0,40 – 0,59	Concordância Moderada
0,60 – 0,79	Concordância Substantiva
0,80 – 1,00	Concordância Quase Perfeita

Fonte: Landis e Koch (1977).

Com relação a Acurácia Global ela avaliará a eficiência do software em realizar a classificação supervisionada da área, assim podendo-se avaliar se o programa executa bem essa tarefa.

Para a delimitação de Áreas de Preservação Permanente (APP) foi utilizada a legislação do código florestal brasileiro para predefinir sua área de abrangência (Tabela 03) e realizar a análise das ocupações no leito desses cursos hídricos, e assim obter um diagnóstico da respeitabilidade dessa lei. Foi utilizada para essa delimitação a ferramenta *buffer* presente no QGIS para a delimitação de uma área de 30m, já que foi levado em conta que os rios da região são de regime intermitente, então foi utilizado a faixa mínima de largura da APP.

**Tabela 03 – Largura da Área de Preservação Permanente**

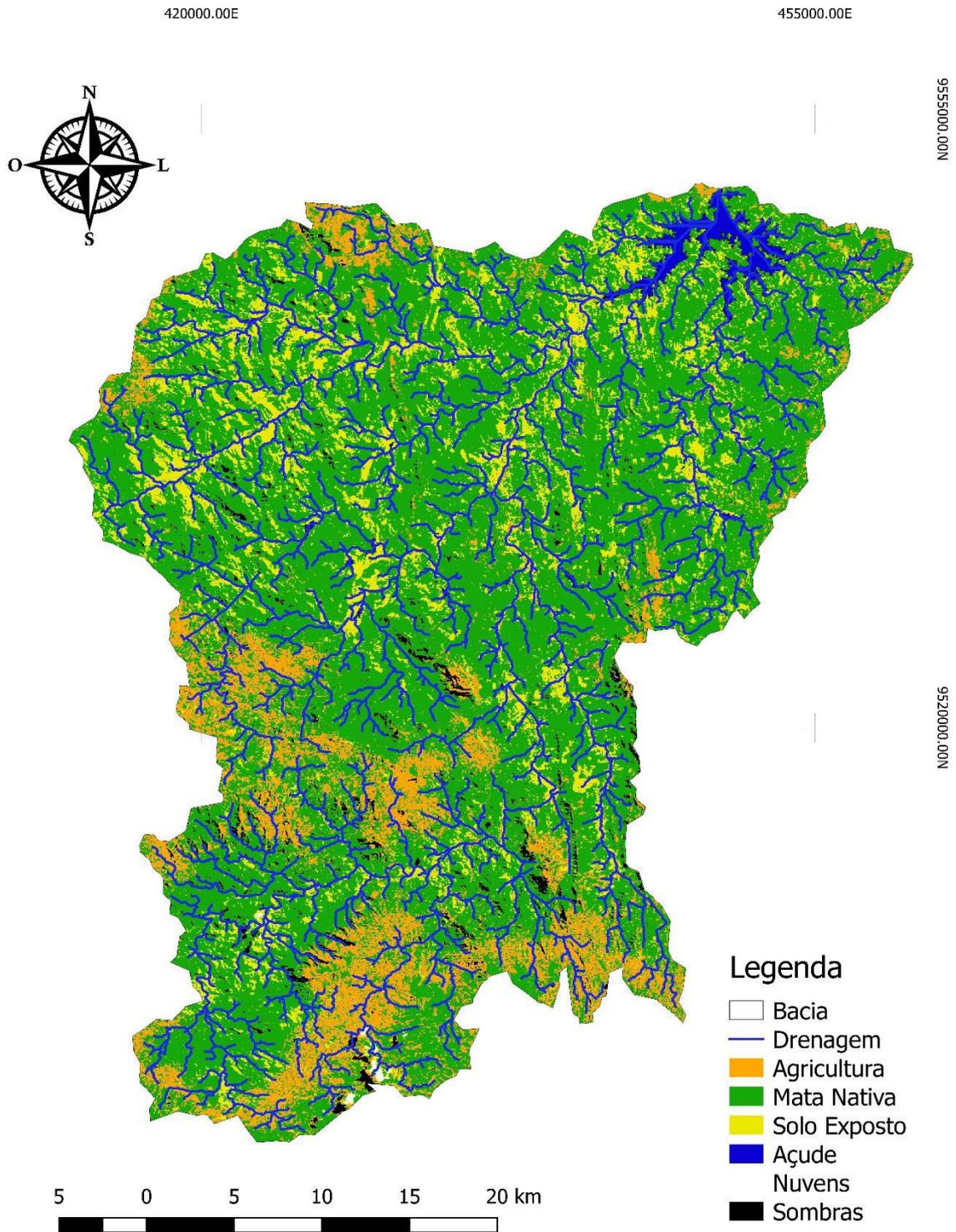
<b>Curso Hídrico</b>	<b>Largura da APP</b>
< 10m	30m
10 – 50m	50m
50 – 200m	100m
200 – 600m	200m
> 600m	500m

Fonte: Código Florestal Brasileiro (2012).

## **4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 – Avaliação do Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Açude General Sampaio**

Com a utilização do Quantum Gis (QGIS) 2.18.0 e a sua extensão Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) foi possível realizar a classificação espectral das imagens LANDSAT dos anos de 1997, 2007 e 2017 abrangendo assim 20 anos de temporalidade, a resposta da classificação da imagem Landsat 5 TM do ano de 1997 pode ser vista na Figura 08.

**Figura 08 – Classificação Espectral da Bacia do Açude General Sampaio no ano de 1997**

Fonte: Autor.

Pode ser observado na classificação do ano de 1997 que algumas sombras catalogadas não foram de nuvens e sim de alguns lugares com relevo acentuado. No geral a maior parte de áreas de Solo Exposto e Agricultura encontram-se próximas as linhas de drenagem dessa bacia, isso ocorre principalmente por todos seus córregos e rios serem intermitentes.

No mapa de uso e ocupação do solo com a cena do Landsat 5 TM de 1997 (Figura 08) foram obtidas no pós-classificação as informações presentes na Tabela 04, quantificando assim as áreas de agricultura, caatinga, solo exposto e espelhos d'água (principalmente açudes).

**Tabela 04 – Quantificação das Áreas identificadas no ano de 1997**

Classes	Área (ha)	Área Correspondente a Bacia (%)
Agricultura	22.109,00	13,88%
Caatinga	109.914,00	68,99%
Solo Exposto	21.506,60	13,50%
Hidrografia	1.945,98	1,22%

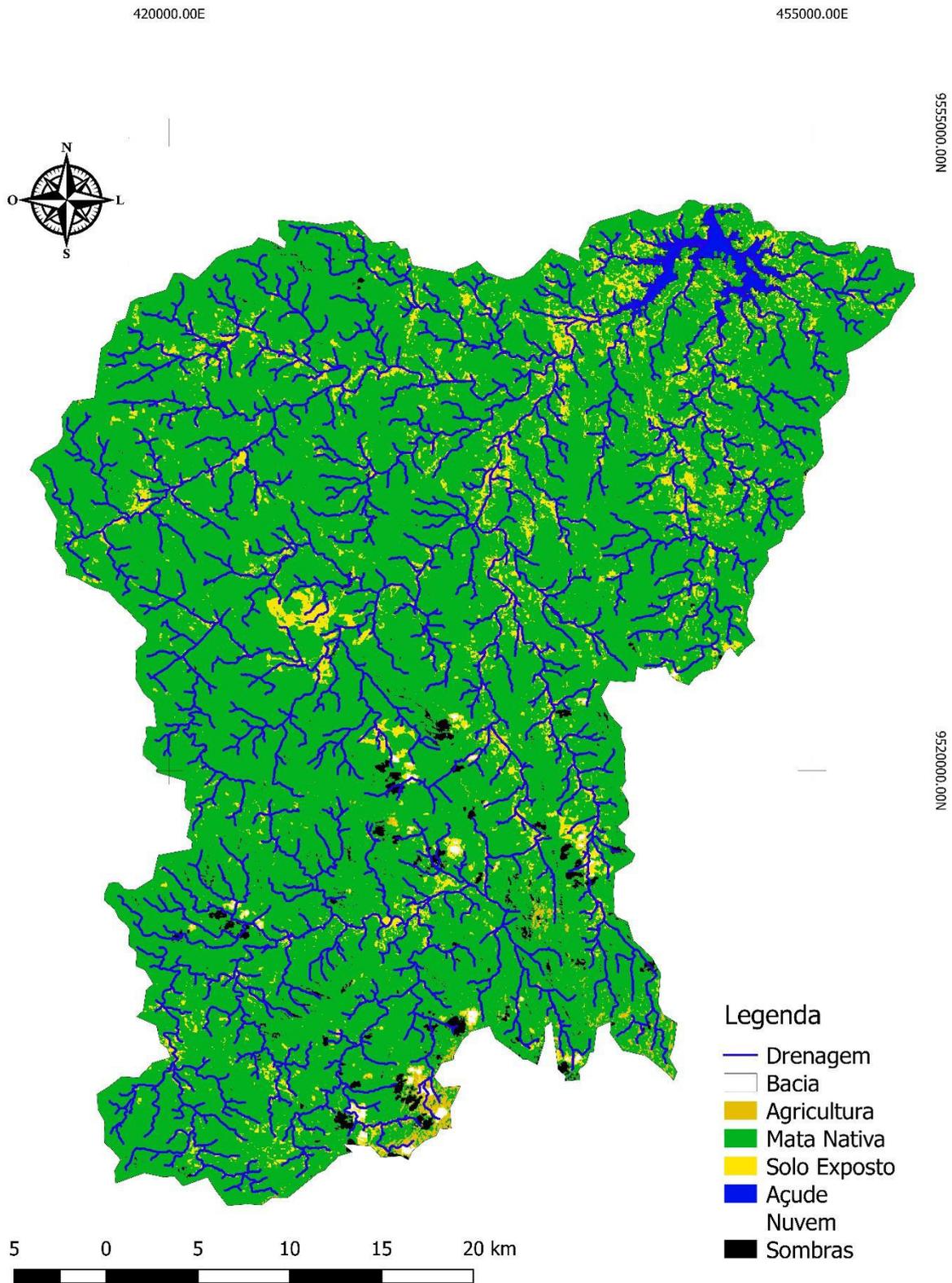
Fonte: Autor.

De acordo com a classificação espectral feita na bacia do açude General Sampaio, foi observada a presença da classe Agricultura em uma área que representa 13,88% da bacia em questão, já Caatinga representou 68,99% da área, Solo Exposto 13,50% e áreas de Hidrografia 1,22%.

O satélite Landsat tem uma resolução espacial de 30 metros, logo, estudos que visam um detalhamento maior do uso e ocupação do solo é recomendado satélites que proporcionem um detalhamento maior, mas para estudos de grandes áreas as imagens coletadas são de grande garantia de um bom resultado.

A classificação da imagem Landsat 5 TM do ano de 2007 pode ser vista na Figura 09, e assim é possível ter a análise da temporalidade de 10 anos após a primeira imagem analisada no presente trabalho.

**Figura 09 – Classificação Espectral da Bacia do Açude General Sampaio no ano de 2007**



Fonte: Autor.

Observa-se que na primeira década avaliada houve uma diminuição considerável das áreas de Solo Exposto e Agricultura na região estudada, e uma concentração das áreas de Solo Exposto mais próximo das linhas de drenagem da bacia estudada.

No resultado da classificação da cena do Landsat 5 TM de 2007 obtivemos um mapa de uso e ocupação do solo (Figura 09) que geraram valores representados na Tabela 05, quantificando também as áreas das macroclasses utilizadas no estudo dessa bacia.

**Tabela 05 – Quantificação das Áreas identificadas no ano de 2007**

Classes	Área (ha)	Área Correspondente a Bacia (%)
Agricultura	2.459,25	1,54%
Caatinga	141.673,00	88,91%
Solo Exposto	10.826,30	6,79%
Hidrografia	1.609,56	1,01%

Fonte: Autor.

Na análise dessa primeira década (1997-2007) podemos ver uma involução da quantidade de áreas que representam a macroclasse de Agricultura, um decréscimo em relação a classificação do ano de 1997 de 88,87%, um número que representa de 19.649,75ha a menos da classe Agricultura.

Em relação a Caatinga houve um aumento de área em relação a 1997, um acréscimo de 31.759ha, o que representa 28,89% a mais de área da macroclasse Caatinga na classificação feita. A macroclasse Solo Exposto representava 49,67% a mais em 1997 em relação a 2007, uma diminuição de área de 10.680,30ha da classe de Solo Exposto. Em relação a Hidrografia da região, houve uma diminuição de 17,29% de área, o que representa 336,42ha a menos da macroclasse Hidrografia.

Nos números apresentados na interpretação desses dados, mostram uma evolução de dois, das 4 macroclasses avaliadas no sentido de um bom manejo do uso e ocupação ao longo da bacia. Nessa primeira década houve uma diminuição de áreas das macroclasses de Solo Exposto, Agricultura e Hidrografia, e um aumento da classe de Caatinga. Em relação a primeira citada, é um bom indicativo na questão da conservação dos solos e dos recursos hídricos presentes na microbacia de General Sampaio, a diminuição de possíveis áreas de solo exposto representa um menor risco de processos degradativos como a erosão e o carreamento de substâncias para dentro dos rios e reservatórios.

A diminuição da macroclasse de Agricultura é um dado que pode representar a dificuldade de se manter a atividade ao longo dessa área, o que pode representar uma

impossibilidade da permanência do homem no campo, pois as atividades agricultoras bem manejadas não representam grandes riscos ao ambiente em questão. Os dados de diminuição de produção na região podem ser confirmados pelos dados da Produção Agrícola Municipal (Tabela 06) que mostra o movimento de diminuição de produção do ano de 2007 em comparação com o ano de 1997.

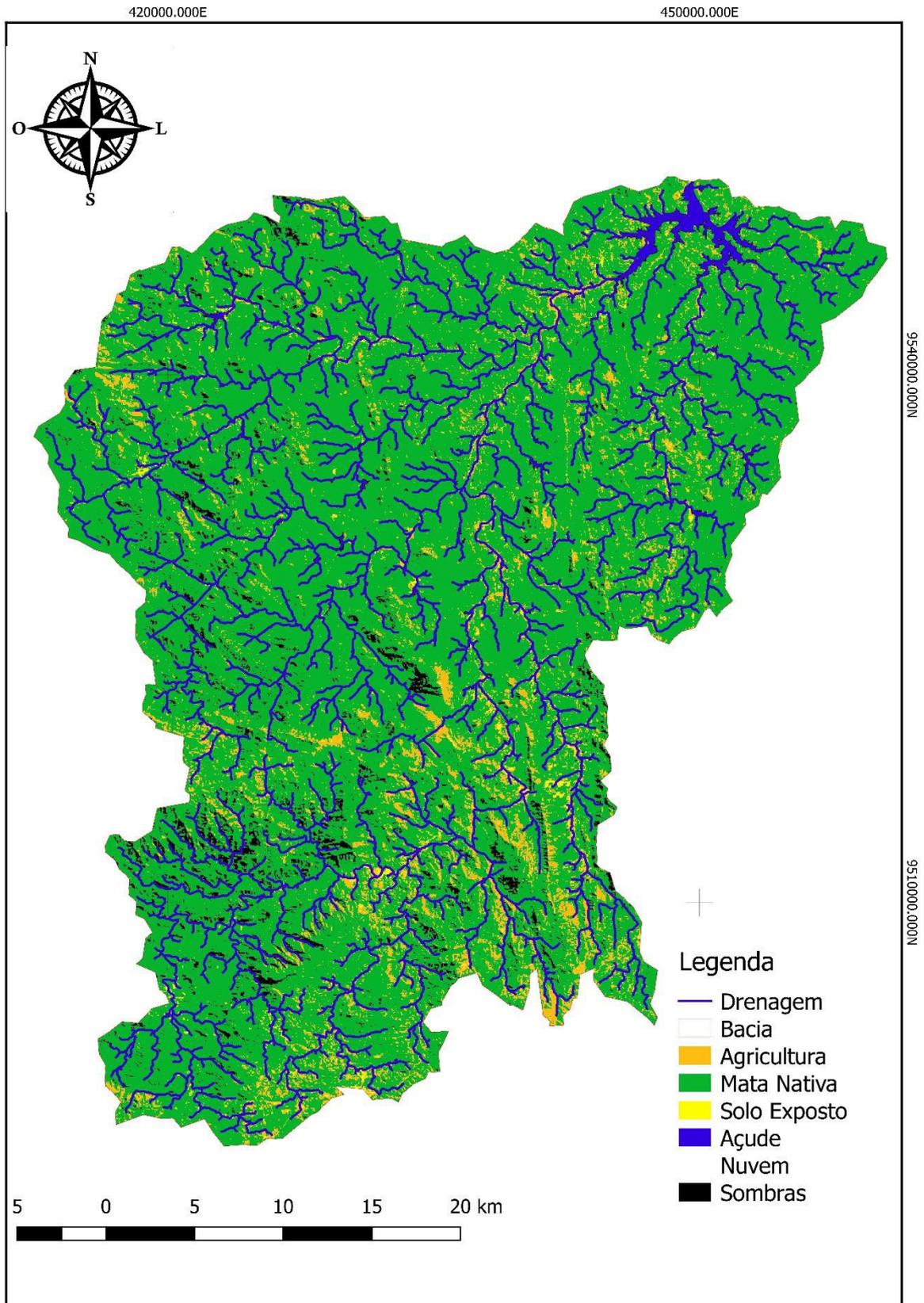
**Tabela 06 – Produção Agrícola Municipal de General Sampaio**

ANO	Área Plantada	Área Colhida	Produção
	ha	ha	T
1997	1250	1205	528
2007	1167	1167	501
2017	1729	1729	2292

Fonte: IBGE (2019).

Em relação a diminuição das áreas de Hidrografia esse decréscimo pode representar uma limitação da capacidade de armazenamento hídrico dessa bacia, o que para o semiárido nordestino é dado preocupante, somados aos dados de áreas da classe de Agricultura pode ser um indicativo da diminuição dessa atividade. Já o aumento da macroclasse de Caatinga representa uma evolução da preservação dessas áreas, o que é algo importante para a vegetação nativa e os ambientes naturais.

A resposta da classificação da imagem Landsat 8 OLI do ano de 2017 pode ser vista na Figura 10 e assim completar-se um ciclo de duas décadas do intervalo das 3 imagens analisadas no presente estudo.

**Figura 10 – Classificação Espectral da Bacia do Açude General Sampaio no ano de 2017**

Fonte: Autor.

Na classificação gerada no ano de 2017 é possível observar a presença de sombras das regiões com relevo acentuado, além da mesma Macroclasse também abranger as sombras de nuvem.

No mapa gerado da cena do Landsat 8 OLI do ano de 2017 (Figura 10) foram gerados valores que estão na Tabela 07, onde foi possível quantificar as áreas da classificação feita.

**Tabela 07 – Quantificação das Áreas identificadas no ano de 2017**

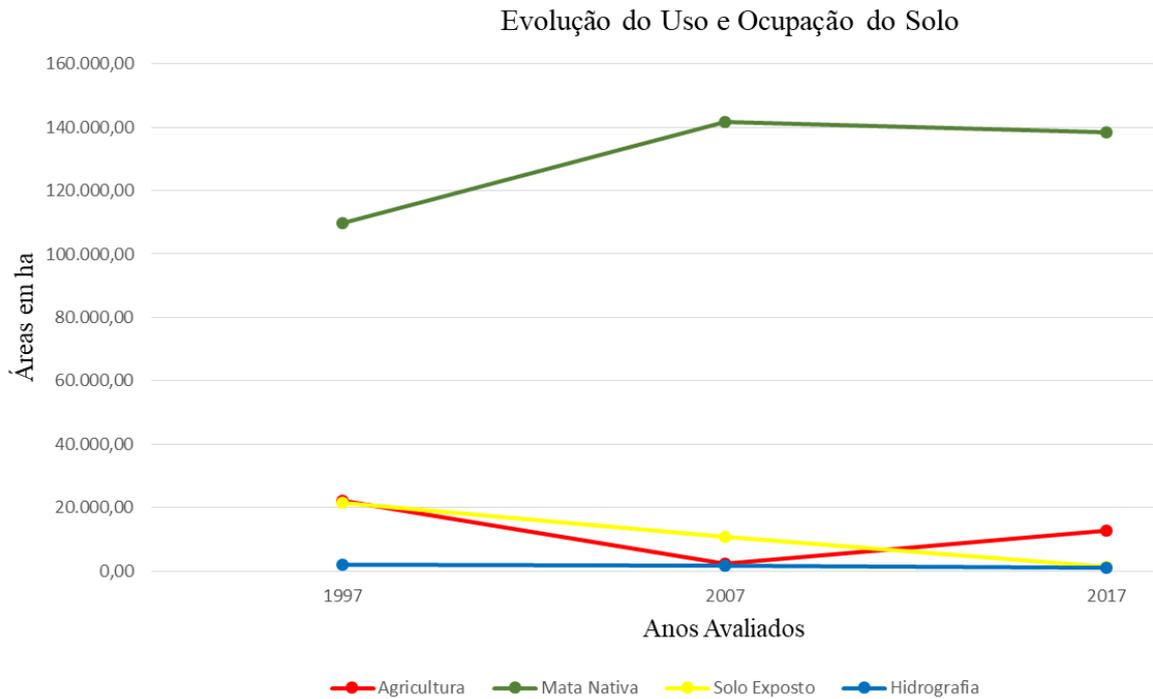
Classes	Área (ha)	Área Correspondente a Bacia (%)
Agricultura	12.846,80	8,06%
Caatinga	138.519,00	86,94%
Solo Exposto	1.271,61	0,80%
Hidrografia	1.148,22	0,72%

Fonte: Autor

Na segunda década avaliada (2007-2017) pode-se perceber o aumento de 422,39% da macroclasse de Agricultura, um acréscimo que representa 10.387,55ha a mais dessa área em relação a 2007. A classe de Caatinga teve uma diminuição de 2,23% em relação a 2007, uma área equivalente a 3154ha.

Na classificação realizada a macroclasse de Solo Exposto teve uma queda de 88,25% em relação a 2007, uma área que equivale a 9554,69ha a menos de solo exposto. No ano de 2017 a macroclasse de Hidrografia representava uma área 28,66% menor do que no ano de 2007, algo equivalente a 461,34ha a menos.

As informações trazidas na avaliação da segunda década do estudo (2007-2017) mostram bons números para duas das quatro macroclasses avaliadas. A classe de Agricultura obteve um aumento considerável, podendo levar em conta que o ano de 2017 obteve um aumento no índice de pluviometria (Figura 02) comparado aos anos que o antecederam. A Figura 11 traz um gráfico com a evolução de cada Macroclasse ao longo dos 20 anos analisados.

**Figura 11 – Evolução da Ocupação das Macroclasses**

Fonte: Autor.

A diminuição de área de Caatinga pode servir de alerta para a fiscalização e conservação da mata nativa nessa região, principalmente para a garantia hídrica da região, não só de disponibilidade, mas também de qualidade dessa água, já que de acordo com a classificação houve um aumento da supressão vegetal e também da agricultura.

A contínua queda de área de solo exposto é um bom índice para a manutenção do mesmo na bacia estudada, e essa queda também pode estar atribuída ao aumento das áreas de Agricultura, já que as áreas que anteriormente poderiam estar com solo exposto, podem estar sendo convertidas para terras agricultáveis. Mas um índice que preocupa pela mantida queda é da área de Hidrografia da bacia do açude General Sampaio, podendo também ser justificada pelos índices pluviométricos abaixo da média dos anos que antecederam 2017 (Figura 02) sendo uma das maiores estiagens que o estado do Ceará já passou.

#### 4.2 – Avaliação da eficiência da classificação

Após a classificação das imagens é necessário realizar a validação dessas informações para autenticar os dados gerados, assim se faz importante os índices de Acurácia e o Kappa gerados nos pós processamento dessas imagens. A acurácia vai medir a proximidade dos dados amostrados durante a pré-classificação da imagem e os dados resultantes após a classificação da mesma, assim é possível obter valores que mostrarão a qualidade que o software e sua extensão obtiveram ao classificar automaticamente a imagem de satélite.

Na Tabela 08 é possível verificar a acurácia gerada após a classificação da imagem do ano de 1997. O eixo superior da tabela representa a referência do pixel classificador e no eixo lateral a quantificação na qual aquele pixel classificado está de acordo com a sua referência, logo o quanto aquele objeto X foi classificado como X, ou quanto de erro obteve na classificação de cada item, como o objeto X ter sido classificado como Y.

**Tabela 08 – Acurácia da Classificação da Imagem do ano de 1997**

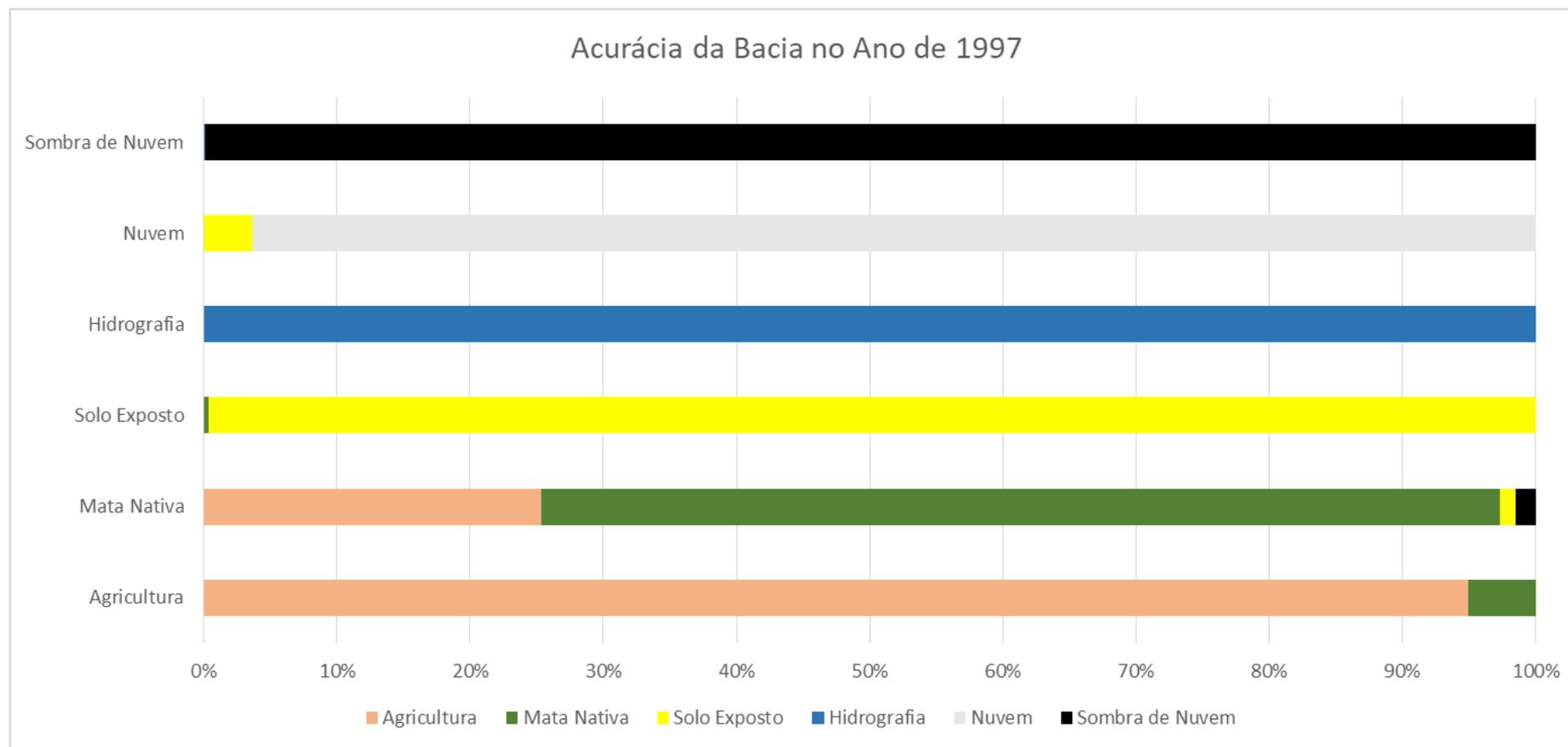
> Error Matrix

> Reference

V_Classification	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	Total
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0	0	2782	12398	0	0	0	0	15180
2.0	0	147	35236	8	0	1	0	35392
3.0	0	0	565	2202	0	57	0	2824
4.0	0	0	2	0	5411	0	2	5415
5.0	0	0	0	0	0	1518	0	1518
6.0	0	0	739	0	0	0	1694	2433
Total	0	2929	48940	2210	5411	1576	1696	62762

Fonte: Autor.

É possível notar que na Acurácia da classificação da imagem de 1997 a eficiência na Macroclasse de Caatinga foi comprometida, tendo em vista que pixels que foram considerados Caatinga foram classificados como Agricultura (1.0), Sombras (6.0) e Solo Exposto (3.0), essa eficiência é mostrada na Figura 12. O maior erro matricial pode ser visto na macroclasse Caatinga em relação a Agricultura, esse erro se dá por conta que as duas classes classificaram tipos de vegetações, tendo possíveis erros relacionados a confusão da resposta do albedo para o sensor do satélite.

**Figura 12 – Eficiência da Acurácia Global da Classificação da Imagem de 1997**

Fonte: Autor.

Após a classificação da imagem do ano de 2007 foi gerada a Acurácia (Tabela 09) para avaliar como foi feito o erro matricial dessa classificação afim de analisar a qualidade da mesma.

**Tabela 09 – Acurácia da Classificação da Imagem do ano de 2007**

> Error Matrix

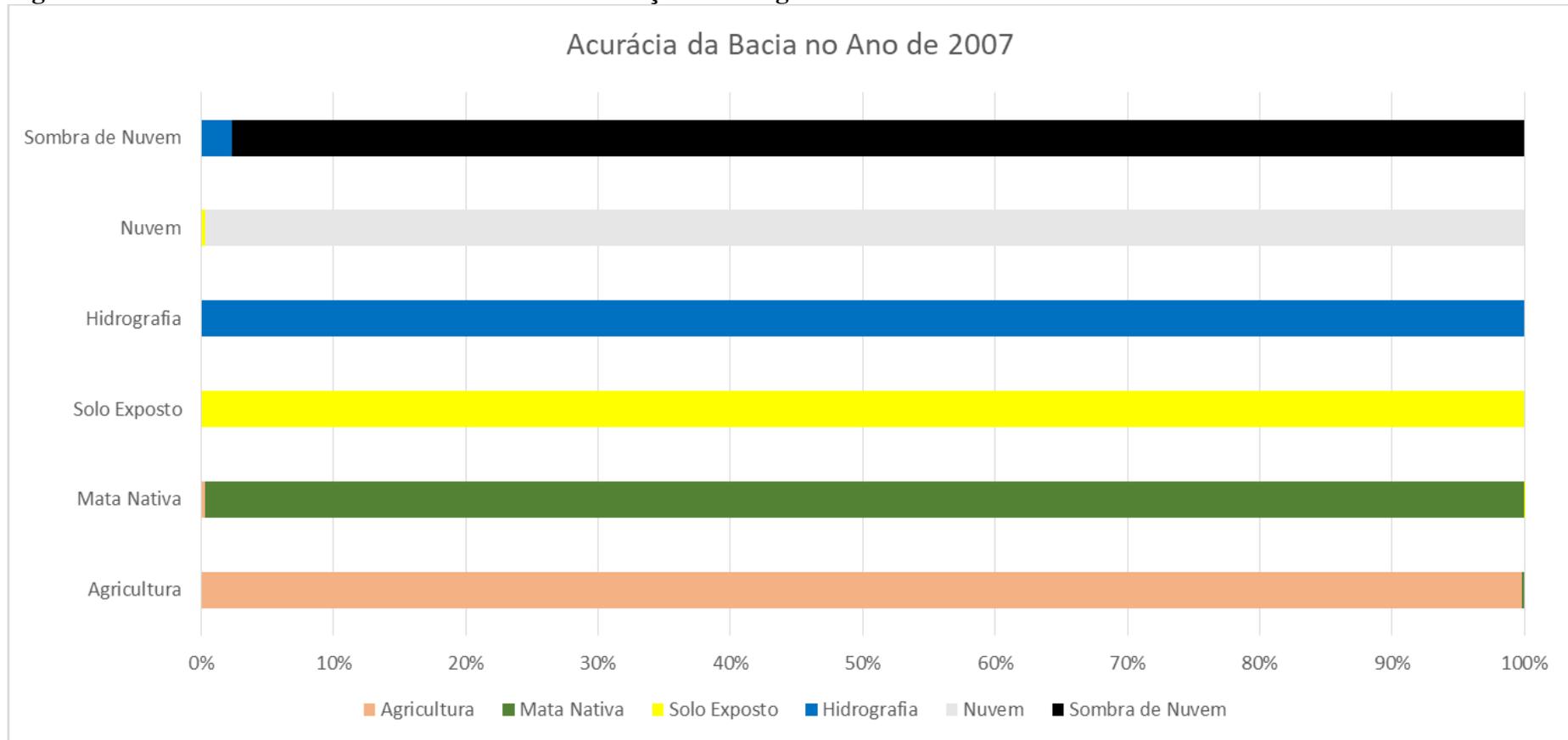
> Reference

V_Classification	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	Total
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0	0	1654	13	0	0	0	0	1667
2.0	0	3	4788	0	0	0	0	4791
3.0	0	0	1	738	0	7	0	746
4.0	0	0	0	0	7157	0	44	7201
5.0	0	0	0	0	0	1985	0	1985
6.0	0	0	0	0	0	0	1854	1854
Total	0	1657	4802	738	7157	1992	1898	18244

Fonte: Autor.

Pode-se observar que a eficiência dessa classificação foi bastante alta, levando em conta que poucas amostras realizadas na classificação automática foram identificadas como outra amostra (Figura 13). A amostra com o maior erro foi a de Sombras (6.0) que houve áreas que foram identificadas como Hidrografia (4.0), esse erro consiste por conta que a água e a sombra possuem respostas parecidas com relação a luz que incidida sobre ela, já que a absorção dessa luz gerando assim possíveis erros de classificação entre sombra e água.

**Figura 13 – Eficiência da Acurácia Global da Classificação da Imagem de 2007**



No Pós-processamento da imagem do ano de 2017 também pode ser observada que a Acurácia (Tabela 10) obteve uma boa eficiência, destacando os maiores erros nas Macroclasses de Caatinga (2.0) e Sombras (6.0). Em Caatinga os maiores erros de classificação foram com as classes de Agricultura e Sombras, já a de Sombras o maior erro foi com a Macroclasse de Hidrografia.

**Tabela 10 – Acurácia da Classificação da Imagem do ano de 2017**

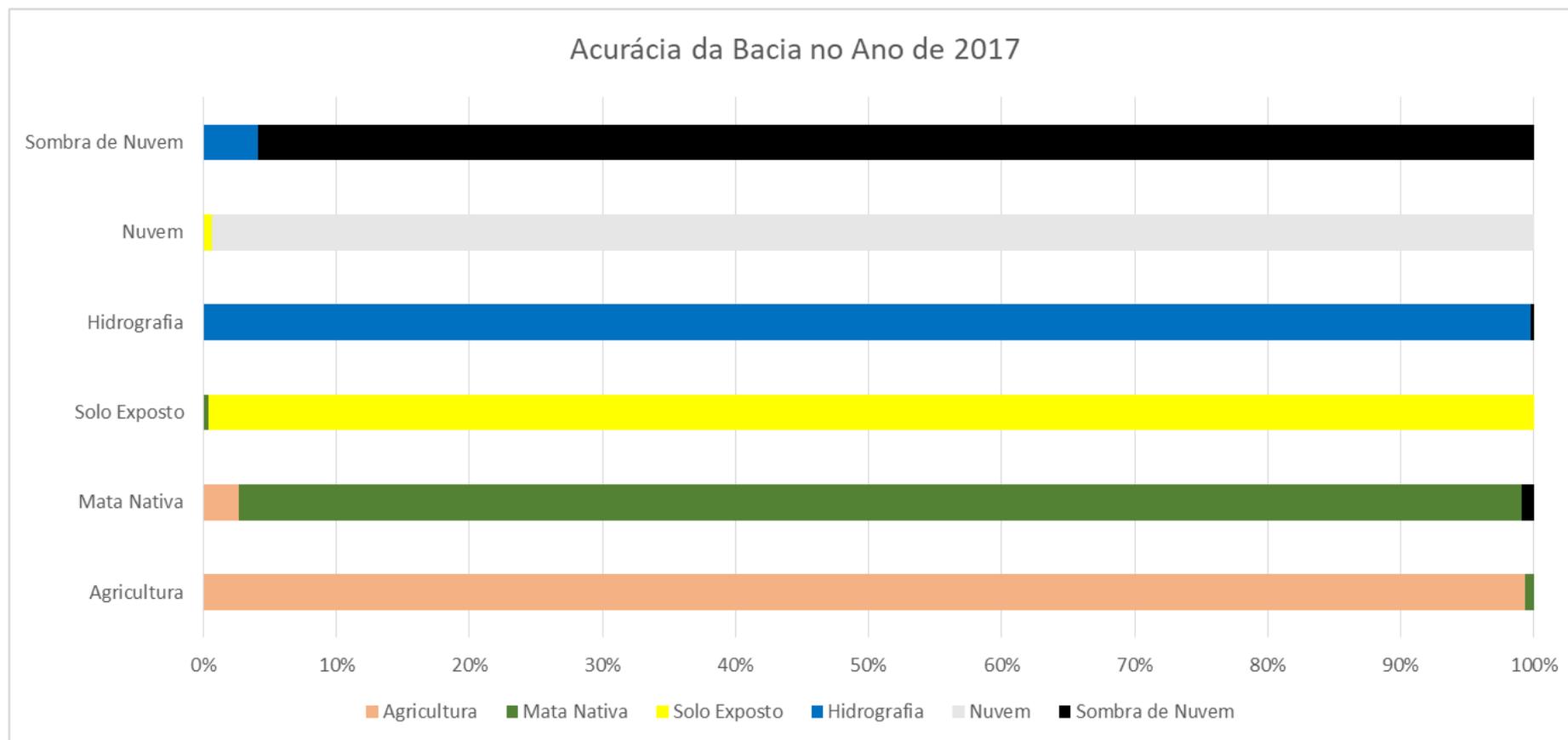
&gt; Error Matrix

&gt; Reference

V_Classification	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	Total
0.0	0	0	0	0	0	0	0	0
1.0	0	478	989	0	0	0	0	1467
2.0	0	3	35178	2	0	0	0	35183
3.0	0	0	1	554	0	7	0	562
4.0	0	0	0	0	2593	0	214	2807
5.0	0	0	0	0	0	1107	0	1107
6.0	0	0	335	0	7	0	5017	5359
Total	0	481	36503	556	2600	1107	5231	46485

Fonte: Autor

A Acurácia Global encontrada para cada ano foi de 77,83% para o ano de 1997, de 99,63% para o ano de 2007 e de 96,66% para o ano de 2017. Esses índices refletem uma boa abrangência da classificação das imagens, mostrando que há uma fidelidade aos dados reais. Na Figura 14 pode ser encontrada essa eficiência exemplificada, mostrando a porcentagem da acurácia de cada objeto classificado do ano de 2017.

**Figura 14 – Eficiência da Acurácia Global da Classificação da Imagem de 2017**

Fonte: Autor.

Para complementar a avaliação se faz importante a utilização do índice Kappa, por se basear no número de respostas concordantes esse coeficiente avaliou e validou os dados obtidos da classificação espectral das imagens de satélite, os valores obtidos foram feitos através de uma análise da extensão SCP.

Na Tabela 11 encontra-se os valores do índice Kappa das imagens classificadas de seus respectivos anos, e a interpretação desses valores de acordo com Landis e Koch (1977).

**Tabela 11 – Índice Kappa e avaliação de acordo com Landis e Koch**

Ano	Índice Kappa	Interpretação de acordo com Landis e Koch
1997	0.59	Concordância Moderada
2007	0.99	Concordância Quase Perfeita
2017	0.91	Concordância Quase Perfeita

Fonte: Autor.

A concordância moderada obtida no ano de 1997 é bem aceita para uma estimativa quantitativa, mas seria necessário a melhora desse índice para uma análise qualitativa das áreas, podendo também ser utilizadas imagens com melhores definições para melhorar a classificação. Já os valores obtidos na classificação dos anos de 2007 e 2017 são muito importantes para validar a eficiência de ferramentas gratuitas para a estimativa do uso e ocupação do solo em grandes áreas, e valida os dados gerados no presente trabalho como de qualidade muito boa.

Com esses valores de concordância no coeficiente Kappa é possível obter um nível adequado de confiança nos valores gerados por essa classificação espectral das imagens da referida bacia, e assim levando adiante as análises propostas e realizadas ao longo do trabalho.

### **4.3 – Aplicação das Áreas de App e Avaliação do Uso e Ocupação em Seu Território**

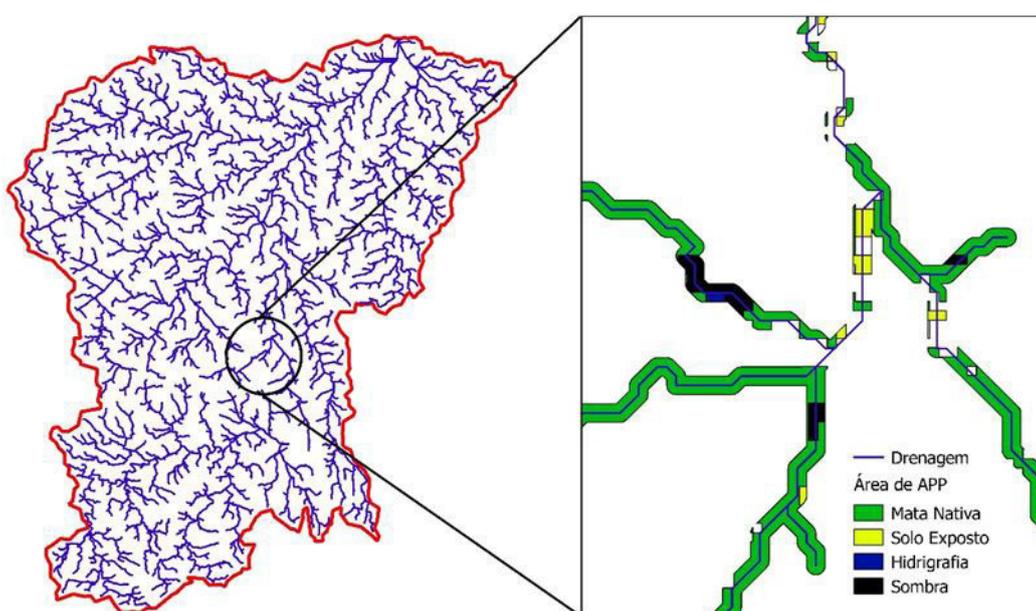
De acordo com o novo Código Florestal Brasileiro do ano de 2012, Área de Preservação Permanente (APP) é definida como uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Levando em consideração que no novo código florestal as Áreas de Preservação Permanente são contados a partir do leito regular do curso hídrico, e no estado do Ceará os

seus rios são intermitentes, então no presente trabalho foi utilizada a largura mínima de Área de Preservação Permanente (30 metros) para fazer o recorte dessas áreas de APP.

No software QGIS 2.18.0 foi aplicada essa faixa (buffer) de 30 metros simulando essas zonas, gerando assim para o ano de 2017 um mapa de uso e ocupação do solo ao longo dos territórios que deveriam ser de Área de Preservação Permanente (Figura 15).

**Figura 15 – Áreas de Preservação Permanente na Bacia do Açude General Sampaio**



Fonte: Autor.

É possível observar na Figura 15 uma amostra dessa classificação com uma área simulando a Área de Preservação Permanente, nesse exemplo é possível identificar 4 Macroclasses (Caatinga, Solo Exposto, Hidrografia e Sombra), mas houve erros relacionados ao processamento de recorte de áreas do *buffer* em relação as macroclasses que inviabilizaram a quantificação exata dessas áreas. Esses erros podem estar relacionados a instabilidade do software, assim como a incapacidade do computador utilizado na pesquisa em realizar a demanda requerida pelo programa QGIS.

A presença de solo exposto e agricultura em áreas de Preservação permanente geram um alerta, pois a presença de áreas agrícolas é ilegal em áreas de APP de acordo com a respeitabilidade ao Código Florestal Brasileiro de 2012, a presença dessa atividade no entorno

dos cursos hídricos podem acentuar os processos degenerativos ao meio ambiente, acarretando inclusive da contaminação dos espelhos d'água.

As áreas de solo exposto podem indicar locais de alto risco de erosão, já que as espécies vegetativas auxiliam na proteção do solo em relação aos processos erosivos. As fiscalizações nesses lugares se fazem necessárias, pois podem afetar diretamente a disponibilidade hídrica e a qualidade da mesma, podendo acentuar a eutrofização dos ambientes aquáticos, como pode-se observar nas análises disponíveis da qualidade da água do açude General Sampaio (Tabela 12).

**Tabela 12 – Análise da Qualidade de Água do Açude General Sampaio**

Data da Coleta	N	P <sub>TOTAL</sub>	Clorofila	Contagem de Cianobactérias	Transparência	Classe
	mg/L	mg/L	µg/L	Cél/mL	m	
25/01/2017	2,338	0,266	4,090	94.016	0,660	Eutrófica
26/04/2017	1,540	0,116	39,040	7.706	1,100	Eutrófica
27/07/2017	1,162	0,116	15,810	6.964	2,270	Eutrófica
25/10/2017	1,412	0,065	7,720	25.660	1,460	Eutrófica

Fonte: Atlas da COGERH (2017)

Como pode-se observar na análise de água do açude General Sampaio, a eutrofização do corpo hídrico representa que há uma concentração alta de nutrientes, principalmente de fosfatos e nitratos, o que consiste na poluição dessa água o tornando imprópria para o consumo humano. Esse acúmulo pode ser atribuído a diminuição do volume do açude (podendo ser confirmada pela diminuição da área da macroclasse de corpos hídricos e também pelo volume de chuva abaixo da média) e a presença de agentes poluidores na hidrografia que abastece esse açude, fazendo que aumentem os índices de nutrientes nessa água.

## 5 - CONCLUSÃO

O manejo e a conservação das bacias são importantes para a oferta hídrica e a manutenção da qualidade de água, no semiárido o controle do uso e ocupação do solo se faz extremamente importante para o mantimento do abastecimento d'água para o consumo humano, animal, agricultura e indústria, sendo uma iniciativa essencial para o mantimento da população rural no campo, diminuindo assim o êxodo pela inviabilidade de sobrevivência

nesses lugares. A qualidade da água influencia diretamente na saúde da população podendo gerar efeitos adversos e assim

O uso e ocupação do solo na bacia do açude General Sampaio em geral é bastante homogêneo, mas o crescimento de áreas agrícolas deve vir acompanhadas de políticas públicas de assistência técnica, pois essas atividades podem ser geradoras de impactos ambientais sérios, e influenciando assim diretamente a qualidade e também disponibilidade hídrica nessa região. A estiagem histórica entre os anos de 2011 a 2018 acentua os processos de eutrofização da água, mostrando importante medidas mitigadoras para a preservação desses ambientes, já que a principal fonte de abastecimento de água na região em questão é feita pelo açude estudado.

A aplicação das tecnologias de geoprocessamento se mostram cada vez mais importantes para diversas áreas de estudo, principalmente quando se trata de conservação ambiental e agricultura. A utilização de imagens de satélite se mostrou um ótimo mecanismo para avaliação de grandes áreas, apresentando um potencial cada vez maior dessas geotecnologias auxiliarem órgãos governamentais e empresas nas suas diversas atividades.

No presente trabalho se buscou testar o emprego de ferramentas gratuitas na geração de informações de uso e ocupação do solo ao longo da bacia de General Sampaio, o que se mostrou eficiente na superestimação de áreas, podendo servir como um apontamento para se utilizar ferramentas com um maior detalhamento de informações, tendo em vista que as imagens utilizadas do satélite Landsat possui uma resolução máxima de 30 metros, então objetos próximos a essa resolução podem ter sua qualidade de apontamento comprometida.

Já o software QGIS 2.18.0 se mostrou eficiente no processamento dessas imagens, sendo um recurso gratuito e de fácil execução nas diversas ferramentas de geoprocessamento, tendo em vista que muitos *softwares* pagos e a compra de imagem de satélites podem vir a trazer altos custos onerando assim a atividade a vir ser realizada.

A extensão Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) é uma ferramenta completa para análises de sensoriamento remoto, mostrando uma eficiência e uma quantidade de ferramentas disponíveis satisfatórias para o desenvolvimento dessas atividades.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, I. C. da S. Perda de solo e aporte de nutrientes e metais em reservatório do semiárido brasileiro. 2017. 153f. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2017;
- ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. *Hydrological Sciences*, vol. 51, p. 157-170, 2006;
- BARBOSA, J. E. L. *et al.* Aquatic Systems in Semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnologica Brasiliensia*, vol. 24, p. 103-118, 2012;
- BERTOL, I.; ROGO, N.P.; LEVIEN, R. Cobertura morta e métodos de preparo do solo na erosão hídrica em solo com crosta superficial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.13, n.3, p.373-9, 1989;
- BERTOL, O. J. *et al.* Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 31, p. 781-792, 2007;
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. São Paulo: Ícone, 1990. 355 p.
- BRASIL. CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO, 2012;
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE CONAMA. Resolução n° 454 novembro de 2012;
- CARPENTER, Sr; CARACO, Nf.; CORRELL, D.L; HOWARTH, R.W.; SHARPLEY, A.N.; SMITH, V.H. Nonpoint Pollution of Surface Waters with Phosphorus and Nitrogen. *Ecological Application*, vol. 8, p. 559–68, 1998;
- CHISTOFOLETTI, A. Aplicabilidades do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, Sandra B.de (orgs). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. 4 ed. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2001.
- COELHO, R. C. T. P.; BUFFON, I.; GUERRA, T. Influência do uso e ocupação do solo na qualidade da água: um método para avaliar a importância da zona ripária. *Revista Ambiente e Água*, Taubaté, vol. 6, p. 104-117, 2011;
- COGERH. Parâmetros para Avaliação da Qualidade das Águas. Fortaleza, p. 27, 2007;
- ARHONDITSIS, G. *et al.* Quantification of the effects of nonpoint nutrient sources to coastal marine eutrophication: applications to a semienclosed gulf in the Mediterranean Sea. *Ecological Modelling*, vol. 129, p. 209-27, 2000;
- COGERH. Atlas da COGERH, 2017. Disponível em: <http://atlas.cogerh.com.br/>. Acesso em: 27 de Abril de 2019.

COGERH. Anuário do Monitoramento qualitativo dos principais açudes do estado do Ceará, 2018);

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, Classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 27, p. 743-753, 2003;

CRIVELENTI, R. C. *et al.* Implicações do novo código florestal no planejamento do uso do solo da fazenda de ensino, pesquisa e extensão. *Revista FLORESTA*, Curitiba, PR, vol. 44 n° 2, p. 271 - 278, 2014;

DOERR, S.H.; SHAKESBY, R.A.; MACDONALD, L.H. Soil water repellency: a key factor in post-fire erosion. In: Cerda, A., Robichaud, P. (Eds.), *Fire Effects on Soils and Restoration Strategies*. Science Publishers Inc., Enfield, New Hampshire, USA, p. 197-224, 2009;

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de Solos, 2018;

ERBERT, M. Introdução ao Sensoriamento Remoto. Master Tesis, Universidade, 2001;

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. 2. ed. Rio de Janeiro, Interciência/INEP, p 575, 1998;

FUNCEME. Plataforma de coleta de dados, 2019. Disponível em: <http://www.funceme.br/pcd/>. Acesso em: 27 de Agosto de 2019.

GALVÃO, L. S. *et al.* Relationships between the mineralogical and chemical composition of tropical soils and topography from hyperspectral remote sensing data. *ISPRS. Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, vol. 63, p. 59-271, 2008;

GUERRERO, L. M. *et al.* Suport Vector machine for crops/weeds identification in maize fields. *Experts Systems with applications Photogrammetry & Remote Sensing*, vol. 63, p. 59-271, 2012;

IBGE. Cadastro de Municípios localizados na Região Semiárida do Brasil. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiariado.shtm>. Acesso: Abr/2019;

IBGE. Produção Agrícola Municipal. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/general-sampaio/pesquisa/31/29644>. Acesso: Nov/2019;

IPLANCE. Atlas do Ceará. Fortaleza (CE), p. 64, 1995;

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land Use Effects on Soil Quality in a Tropical Forest Ecosystem of Bangladesh. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 79 n° 1, p. 9–16, 2000;

LANDIS J. R.; KOCH G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977;33(1):159-74.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.;

LUIZ, A. J. Estatísticas agrícolas por amostragem auxiliadas pelo sensoriamento remoto. Tese de Doutorado em Sensoriamento Remoto – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003;

MEDEIROS C. N. E.; PETTA, R. A. Exploração de imagens de satélite de alta resolução visando o mapeamento do uso e ocupação do solo. In: Anais do Simpósio Brasileiro Sobre Sensoriamento Remoto - SBSR, Goiânia; INPE, p. 2709-2716, 2004;

MESQUITA, F. O. *et al.* Uso do sensoriamento remoto para avaliação da distribuição espacial e quantificação de Macrófitas na barragem Umari – Upanema, RN. Agropecuária Científica no Semi-Árido, vol. 9 n° 2, p. 102-109, 2013;

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – Áreas de Preservação Permanente e Unidades de Conservação & Áreas de Risco. O que uma coisa tem a ver com a outra? Relatório de Inspeção da área atingida pela tragédia das chuvas na Região Serrana do Rio de Janeiro / SCHÄFFER W. B. *et al.* – Brasília: p. 96, MMA, 2011;

MOURI, G. Assessment of Land Cover Relocation Incorporating the Effects of Human Activity in Typical Urban and Rural Catchments for the Design of Management Policies. *Environmental Science and Policy* 50, p. 74–87, 2015;

MUNIZ, L. F.; PEREIRA, J. M. R.; JÚNIOR, C. L. X.; STUDAR, T. M. C. Classificação Climática para o Estado do Ceará Utilizando Distintos Sistemas de Caracterização. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017.

OLIVEIRA, P. M. F.; SILVEIRA, J. L. C.; SEABRA, V. S. Distribuição do Uso e Cobertura da Terra por Domínios Geomorfológicos na Bacia Hidrográfica do Rio São João – Rio de Janeiro. *REVISTA GEONORTE*, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.337-342, 2014;

ONGLEY, E. D.; ZHANG, X. L.; YU, T. Current status of agricultural and rural non-point source pollution assessment in China. *Environment Pollution*, vol. 158, p.1159 - 1168, 2010;

PANTALENA, A. F. Análise dos impactos ambientais no Médio e Baixo Jaguaribe a partir da memória histórica da ocupação humana e registros geológico. Dissertação de Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais – Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza (CE), 2012;

PERDIGÃO, L.S.; VIEIRA, E.M.; MONTE-MOR, R.C.A.; PEREIRA, P.H.R; BONFIM, A.C.F. Diagnóstico da Ocupação Irregular de Áreas de APP na Sub-Bacia do Rio do Peixe em Itabira –MG e a Relação com a Geração de Sedimentos. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013;

PEREIRA NETO, M. C. Perspectivas da agudagem no semiárido brasileiro e suas implicações na Região do Seridó Potiguar. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia (MG), Vol. 29 n° 2, p. 285-294, 2017;

RAMALHO-FILHO, A.; BEEK, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, p. 65, 1995;

ROBICHAUD, P.R.; WAGENBRENNER, J.W.; BROWN, R.E. Rill erosion in natural and disturbed forests: 1. Measurements. *Water Resources Research*, vol. 46, p. 14, 2010;

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G.; BARRETO, T. E.; VIDAL, C. Y.; BRANCALION, P. H. S. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. *Forest Ecology and Management*, vol. 261 n° 10, p. 1605 - 1613, 2011;

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. *Revista do Departamento de Geografia*, V. 16, p.81-90, (2005). Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288/51024>. Acesso: Mai/2019;

SANTIAGO & CINTRA. Sistemas de referência DATUM e de coordenadas (2018). Disponível em: <https://www.santiagoocintra.com.br/blog/geo-tecnologias/sistemas-de-referencia-datum-e-de-coordenadas>. Acesso: Nov/2019;

SANTOS, J. C. N. *et al.* Effect of dry spells and soil cracking on runoff generation in a semiarid micro watershed under land use change. *Journal of Hydrology*, v. 541, p. 1057-1066, 2016;

SANTOS, J. A. *et al.* Phosphorus partitioning in sediments from a tropical reservoir during a strong period of drought. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 23 n° 23, p. 24237-24247. (2016). Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7629-6>. Acesso: Mai/2019;

SILVA, F. A. T. F. *et al.* Classificação Espectral de espelho d'água via Imagens de Satélite: Caso do Reservatório Castanhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE LIMNOLOGIA-CBL2013, 2013, Bonito-MS. XIVCBL, p. 1-1, 2013;

SOUSA, B. F. S. *et al.* Uso do solo da bacia hidrográfica do Alto Piauí através de imagens do satélite CBERS. *Revista Ciência Agrônômica*, Fortaleza, vol. 38, p. 327-334, 2007;

SOUZA, B. F. S. *et al.* Avaliação de classificadores baseados em aprendizado de máquina para a classificação do uso e cobertura da terra no Bioma Caatinga. *Revista Brasileira de Cartografia*, vol. 62, p. 385-399, 2010;

SILVA, A.M. da. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, vol. 57, p. 251-259, 2004;

VALLADARES, G.S.; GUIMARÃES, M.; BATISTELLA, M. Susceptibilidade à erosão das terras na região oeste do estado da Bahia. *Comunicado Técnico*, EMBRAPA, 2002;

VASQUES, G.M. *et al.* Soil classification using visible/near-infrared diffuse reflectance spectra from multiple depths. *Geoderma*, vol. 223-225, p. 73-78, 2014;

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Vol. 1. Editora UFMG, 2005;

USGS. Plataforma de coleta de dados, 2017. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 12 de Setembro de 2019;

WAGENBRENNER, J.W.; ROBICHAUD, P.R.; ELLIOT, W.J. Rill erosion in natural and disturbed forests: 2. Modeling approaches. *Water Resources Research*, vol. 46, p.14, 2010.