

Classificação supervisionada das áreas de influência da mata ciliar nas barragens Goitá e Tapacurá mediante Spring

Supervised classification of riparian forest areas of influence in the Goitá and Tapacurá dams through Spring

Clasificación supervisada de las áreas de influencia de la mata ciliar en las represas Goitá y Tapacurá mediante Spring

Recebido: 04/11/2020 | Revisado: 08/11/2020 | Aceito: 17/11/2020 | Publicado: 22/11/2020

Valentin Rubén Orcón Zamora

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6010-5806>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: vorcon2871@gmail.com

Adiel Felipe da Silva Cruz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8571-6125>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: felipe.adiel@gmail.com

Antônio Ricardo Santos de Andrade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1384-0888>

Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Brasil

E-mail: ricoarsa@gmail.com

Edijailson Gonçalves da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1436-1718>

Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Brasil

E-mail: edijailsongoncalves@gmail.com

Emylle Kerolayne Palmeira de Andrade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9492-587X>

Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns, Brasil

E-mail: emyllekerolayne_10@hotmail.com

Jéssica Dayana de Souza Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7005-6577>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: jessica.dayna.agro@gmail.com

Edes Torres da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1686-663X>

Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Brasil

E-mail: edestorres@gmail.com

Resumo

Na atualidade, as matas ciliares vêm sendo degradadas pelas atividades antrópicas, contribuindo ao assoreamento, contaminação e degradação do meio ambiente. A lei Nº 12.651 dispõe a existência de uma área mínima de preservação entorno aos corpos de água, sendo necessário o monitoramento espacial e temporal. Este monitoramento pode ser feito mediante múltiplas aplicações SIG (Sistemas de Informação Geográfica) disponíveis para avaliar os câmbios na cobertura, dentre eles o SPRING. Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho do software SPRING no mapeamento e classificação supervisionada das áreas sob influência dos reservatórios Goitá e Tapacurá, utilizando imagens IKONOS e Google Earth para os anos 2009 e 2019. Para a realização da classificação foram definidas duas áreas de influência da mata ciliar circundante às duas barragens alocadas na bacia do rio Capibaribe. Foram definidas seis classes de uso e ocupação do solo. A classificação foi feita utilizando o método de máxima verossimilidade, comparando os pixels da imagem um a um, com um limiar de classificação de 99%. Os resultados determinaram a existência de 2.2975 km² de mata ciliar na barragem Goitá, apresentando maior mudança na área da cana de açúcar com acréscimo de 4.01%. Para a barragem Tapacurá foi determinada 1.8858 km² de mata ciliar, tendo maior mudança na área de pastos com acréscimo de 8.43%. Ambas áreas mostraram incrementos substanciais na classe Mata (Goitá: 23.41% e Tapacurá: 17.83%). A utilização do software SPRING permitiu a classificação supervisionada da mata ciliar nestas barragens, determinando seis coberturas de importância.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; Detecção de mudanças; Imagem de satélite; Pixel; Sensoriamento remoto.

Abstract

Nowadays, the riparian forests have been degraded by anthropic activities, contributing to silting, contamination and degradation of the environment. Law Nº 12,651 provides for the existence of a minimum area of preservation around water bodies, requiring spatial and temporal monitoring. This monitoring can be done through multiple GIS (Geographic Information Systems) applications available to evaluate the exchange rates in the coverage,

including SPRING. In this sense, the objective of the study was to evaluate the performance of the SPRING software in the mapping and supervised classification of the areas under influence of the Goitá and Tapacurá reservoirs, using IKONOS and Google Earth images for the years 2009 and 2019. To carry out the classification, two areas of influence of the riparian forest surrounding the two dams located in the Capibaribe river basin were defined. Six land use and occupation classes were defined. The classification was performed using the maximum likelihood method, comparing the pixels of the image one to one, with a 99% rating threshold. The results determined the existence of 2,2975 km² of riparian forest in the Goitá dam, presenting greater change in the area of sugar cane with an increase of 4.01%. For the Tapacurá dam, 1,8858 km² of riparian forest was determined, with a greater change in the area of pastures with an increase of 8.43%. Both areas showed substantial increments in the Mata class (Goitá: 23.41% and Tapacurá: 17.83%). The use of the SPRING software allowed the supervised classification of the riparian forest in these dams, determining six important coverages.

Keywords: Watershed; Change detection; Satellite image; Pixel; Remote sensing.

Resumen

En la actualidad, las selvas ciliares están siendo degradadas por las actividades antrópicas, contribuyendo a la contaminación y degradación del medio ambiente. La ley N° 12.651 dispone la existencia de un área mínima de preservación entorno a los cuerpos de agua, siendo necesario el monitoreo espacial y temporal. Este monitoreo puede hacerse mediante múltiples aplicaciones SIG (Sistemas de Información Geográfica) disponibles para evaluar los cambios en la cobertura, entre ellos el SPRING. En este sentido, el objetivo del trabajo fue evaluar el desempeño del software SPRING en el mapeo y clasificación supervisada de las áreas bajo influencia de los embalses Goitá y Tapacurá, utilizando imágenes IKONOS y Google Earth para los años 2009 y 2019. Para la realización de la clasificación se definieron dos áreas de influencia de la mata ciliar circundante a las dos represas asignadas en la cuenca del río Capibaribe. Se han definido seis clases de uso y ocupación del suelo. La clasificación se hizo utilizando el método de máxima verosimilitud, comparando los píxeles de la imagen uno a uno, con un umbral de clasificación del 99%. Los resultados determinaron la existencia de 2.2975 km² de mata ciliar en la presa Goitá, presentando mayor cambio en el área de la caña de azúcar con aumento de 4.01%. Para la represa Tapacurá se determinó 1.8858 km² de mata ciliar, teniendo mayor cambio en la zona de pastos con aumento de 8.43%. Ambas áreas mostraron incrementos substanciales en la clase Mata (Goitá: 23.41% y Tapacurá: 17.83%).

La utilización del software SPRING ha permitido la clasificación supervisada de la mata ciliar en estas presas, determinando seis coberturas de importancia.

Palabras clave: Cuenca hidrográfica; Detección de câmbios; Imagen satelital; Pixel; Sensoriación remota.

1. Introdução

O 2012, foi promulgada o Novo Código Florestal Brasileiro, pela lei Nº 12.651 (Brasil, 2012), que regulamenta a proteção da vegetação, estabelecendo áreas de preservação e exploração. As áreas de preservação permanente são aquelas que circulam os corpos e cursos de água, especificando-se o entorno dos lagos e lagoas naturais, reservatórios de águas artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos de água naturais, as que segundo a lei devem ter uma faixa de resguardo com largura mínima de 100 metros em zonas rurais e 30 metros na zona urbana, que é conhecida como mata ciliar.

A mata ciliar, segundo Primo & Vaz (2006); Costa et al. (2010) pode ser considerada como formações vegetais que percorrem ao longo das margens dos cursos de água, cuja função é proteger os recursos hídricos e manter a qualidade destes em equilíbrio constante com a fauna e flora existentes na região, além de manter o ciclo hidrológico nas bacias hidrográficas, evitando o processo de erosão das margens e o assoreamento do leito dos rios. Apesar da proteção da mata ciliar estar regulamentada pela lei e de ter evidentes benefícios ambientais, estas áreas continuam sendo degradadas por atividades antrópicas. A mata ciliar é de suma importância em áreas de influência nos reservatórios, pois é a única barreira que impede a sua poluição principalmente por resíduos líquidos não tratados nas zonas urbanas próximas, contribuindo na eutrofização (SRH, 2009; Silva et al., 2015). Fica também em evidencia que com a conquista de terras agrícolas e a exploração intensiva das matas, o desmatamento está dando origem à erosão e sedimentação dos rios (Camdessus et al., 2010; Ramos et al., 2020).

No intuito da melhora na gestão dos recursos hídricos e contribuir ao restabelecimento das condições naturais do rio Capibaribe, em 2007, criou-se o Comitê da Bacia do Rio Capibaribe (COBH), integrado por representantes da sociedade civil e poderes municipais. O governo do estado recriou também a Secretaria de Recursos Hídricos (extinta desde 2003), instituída como órgão gestor e coordenador das políticas de Recursos Hídricos e de Saneamento do Estado de Pernambuco. O Projeto Sustentabilidade Hídrica de Pernambuco (PSHPE), iniciou três anos depois para apoiar ações com objetivo da segurança hídrica, na

medida em que apoia a consolidação e aprimoramento do sistema de gestão e regulação do uso da água, por meio de ações institucionais, gestão participativa, planos e estudos, regulação de uso, monitoramento e revitalização de bacias (SRH, 2009).

Um das principais metas é a revitalização do rio através da recomposição da mata ciliar, sendo previsto o reflorestamento da área do entorno de três reservatórios, com o objetivo de restaurar as nascentes e a mata ciliar de três sub bacias (SRHE, 2012; Ferreira et al., 2020). A identificação e monitoramento, assim como sua evolução temporal e espacial destas áreas é muito importante, iniciando com os reservatórios priorizados para a execução destas ações.

As barragens Tapacurá e Goitá são os reservatórios de água mais importantes do Recife, pois proveem água ao sistema de abastecimento populacional da cidade; Tapacurá está alocado sobre o rio do mesmo nome e está conformado por um sistema de três barragens, duas de terra e uma principal de concreto, regulando uma bacia hidrográfica a montante de 360 km², entro em operações em 1975 (primeira etapa) e continuo em 1982 (segunda etapa), provendo aproximadamente o 36% do volume distribuído na região metropolitana de Recife, abrangendo a cidade de Recife, São Lourenço da Mata, Camaragibe (sede, socorro e Sucupira).

A barragem Goitá, está localizado no rio do mesmo nome, afluente do rio Capibaribe que inicialmente foi construído para controlar as enchentes, posteriormente operando como reservatório para o abastecimento público. Ambas barragens historicamente estão sujeitas as mudanças das vazões dos rios que os alimentam, gerando maior ou menor exposição das áreas circundantes ao espelho de água, no período seco permite a expansão das atividades antrópicas pela maior área exposta. Em linhas gerais, não existe uma área de amortecimento estável para todos os anos, sendo desenvolvidas atividades agrícolas como o cultivo da cana de açúcar, pastos e outros na área de preservação circundante aos espelhos de água.

Nos últimos anos, a utilização de imagens de satélite vem se incrementando notavelmente, tanto a nível privado como público, especialmente no monitoramento dos recursos biológicos, sendo a informação obtida aproveitada por múltiplos usuários (Hantson, 2011). Neste sentido o sensoriamento remoto na perspectiva da gestão, fiscalização e do monitoramento dos recursos naturais é de bastante importância, no entanto a utilização destas ferramentas ainda se mostra carente de exploração (Magalhães & Pimentel, 2013).

Moreira (2005), define sensoriamento remoto como um sistema por meio do qual se obtém informações a respeito dos recursos naturais renováveis e não renováveis do planeta, pela utilização de sensores colocados em aviões, satélites ou mesmo na superfície. Segundo

Sousa (2007), o desenvolvimento dos SIG (Sistemas de informação geográfica) em conjunto com o sensoriamento remoto tem facilitado sobremaneira a determinação do uso e ocupação do solo, permitindo custos reduzidos e abrangência de áreas mais extensas quanto às mudanças ao longo do tempo.

A classificação das imagens de satélite, permite identificar e quantificar as mudanças acontecidas no tempo. Na atualidade existem inúmeros softwares pago e gratuito, sendo o software de licença livre SPRING 5.5 um potente aplicativo para tratamento de imagens, que pode ser utilizado para mapeamento de amplas áreas, permitindo comparações temporárias, analisando a evolução e crescimento destas sendo urbanas e agrícolas; particularidades como o desaparecimento das matas ciliares e os lixões a céu aberto são eventos que precisam ser estudados para garantir uma maior conservação dos recursos (Sousa, 2007).

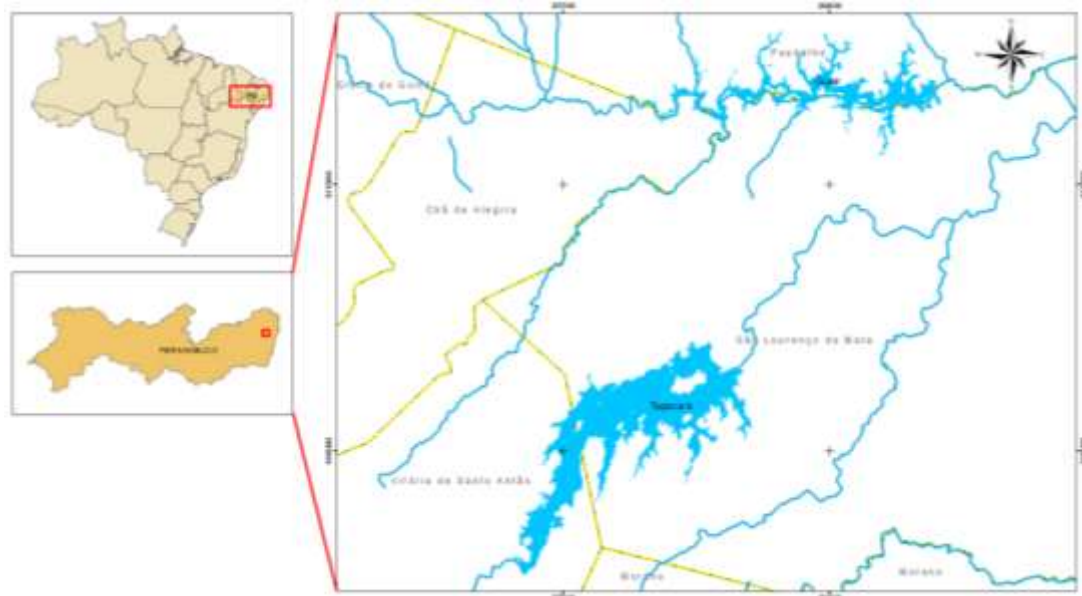
Assim, avaliações temporais de uso e ocupação do solo são necessárias para estabelecer medidas para a melhor conservação destas, tomando sempre como referência a normatividade vigente. Neste sentido objetivou-se avaliar o desempenho do software SPRING no mapeamento e classificação supervisionada das áreas de influência nos reservatórios Goitá e Tapacurá, utilizando imagens IKONOS e Google Earth para os anos 2009 e 2019.

2. Material e Métodos

Área de estudo

A área está alocada na bacia do rio Capibaribe, especificamente nas áreas de abrangência dos reservatórios Goitá e Tapacurá, que fazem parte dos municípios de Vitória de Santo Antão, São Lourenço da Mata, Paudalho e Chã de Alegria (Figura 1). Ambos reservatórios alocados nos rios Goitá e Tapacurá respectivamente, sendo importantes afluentes do rio Capibaribe, o mais importante do Estado de Pernambuco e que historicamente foi nas suas margens que iniciou o cultivo da cana de açúcar, contribuindo para o desenvolvimento econômico do estado.

Figura 1. Localização geográfica dos reservatórios Goitá e Tapacurá e vista dos municípios que fazem parte da bacia do rio Capibaribe.



Fonte: Zamora et al. (2020).

O reservatório Goitá localiza-se nos municípios de Paudalho e São Lourenço da Mata, na latitude $07^{\circ}58'10''S$ e longitude $35^{\circ}06'56''W$, fazendo parte do sistema Tapacurá, abastecendo ao 42% da população da região Metropolitana do Recife. Foi construída nos anos 70, após a grande enchente que atingiu o Recife e diversos municípios da região. A capacidade do reservatório é de $52'000,000\text{ m}^3$ de água (APAC, 2017; SRHE, 2009).

O reservatório Tapacurá localizado nos municípios de São Lourenço da Mata e Vitória de Santo Antão, na latitude $08^{\circ}02'14''S$ e longitude $35^{\circ}09'46''W$, localiza-se a 30 km da cidade de Recife, apresenta uma capacidade de $94.200.000\text{ m}^3$, constituindo-se no mais importante manancial de abastecimento do grande Recife, contribuindo com mais de 25% da água consumida (Andrade, 2009). Ambas barragens estão alocadas entre as mesorregiões metropolitana do Recife e a Mata Pernambucana donde o clima de acordo com a classificação de Köppen é do tipo As' , denominado tropical quente e úmido, com chuva de outono-inverno, apresentando uma estação seca ou de estiagem, que se prolonga de setembro a fevereiro e uma estação chuvosa, de março a agosto (Jales et al., 2012).

Aquisição de imagens

Utilizou-se duas fontes de imagens de satélite, a primeira proveniente do sensor IKONOS-2, provida com correção geométrica padrão, uma resolução espacial de pixel de 4 m, no formato GeoTIFF, com quatro faixas espectrais: azul (0.445 - 0.516 μm), verde (0.506 - 0.595 μm), vermelho (0.632 - 0.698 μm) e infravermelho próximo (0.757 - 0.853 μm).

A segunda consistiu de um mosaico de imagens proveniente do *Google Earth*, escolhidas evitando no possível a presença de nuvens. Precisou-se da correção geométrica feita pela polinomial de 1º ordem, com erro raiz média quadrática total de no máximo um pixel. A projeção utilizada foi a Universal Transversa de Mercator (UTM), datum WGS84, fuso 25 Sul. O período escolhido para análise temporal foi de 10 anos (2009-2019), adotado considerando a disponibilidade das imagens, além de ter como premissa a certeza da ocorrência da maior quantidade de mudanças.

Classificação supervisionada

A classificação supervisionada foi feita em duas etapas, a primeira para o 2009 e a segunda para o 2019. Foi utilizado o SPRING 5.5, software SIG desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE e que conta com funções de processamento de imagens e análise espacial. Foram inseridas as três bandas R, G, B das imagens (2009 e 2019), gerando uma composição sintética falsa cor, os limites de classificação foram definidos a partir de pontos de mesma probabilidade de classificação de uma e de outra classe, sendo utilizadas seis classes de uso e ocupação do solo, previamente definidos mediante análise visual das áreas e descritas a seguir:

Corpos de água: Compreende os corpos de água como rios, riachos e lagoas colidentes com os reservatórios analisados. As tonalidades de cor variam de azul ao verde escuro que foram identificadas visualmente.

Mata: Compreende as áreas cobertas com vegetação de mato e floresta, características do Nordeste Pernambucano. As tonalidades variam da cor verde ao verde escuro.

Cana: Corresponde as áreas cobertas com cana de açúcar, pertencente as fazendas alocadas na zona de influência dos reservatórios. As tonalidades variam de cor verde claro ao verde escuro.

Pastos: Corresponde as áreas cobertas com pastos de diversas espécies, destinados ao corte ou pastoreio do gado. A tonalidade escolhida para as amostras foi o verde mais claro e pouco denso.

Sem cobertura: Abrange as áreas onde não há cobertura nenhuma. Apresentam tonalidades características de terra como o marrom escuro e claro, cinza em zonas muito secas. Estas áreas sem cobertura também podem ser áreas que permanecem em descanso ou ainda estão em preparação para a semeadura ou plantio de culturas.

Estradas: São as áreas sem cobertura que se diferenciam das anteriores, pelas tonalidades de cores que correspondem a estradas e caminhos que variam do branco ao cinza.

Em relação as áreas cobertas de nuvens, só estão presentes no segundo período analisado. Devido a classificação feita para um buffer de 30 m a partir da margem do corpo de água. A interferência foi mínima.

Para a classificação utilizou-se o algoritmo estatístico de máxima verossimilhança (supervisionado), que avalia a variância e a covariância das categorias em padrões de resposta espectral quando classifica um pixel desconhecido. Para isso, assume-se que a distribuição da nuvem de pontos que forma a categoria dos dados de treinamento é gaussiana (distribuição normal). Assumida essa suposição, a distribuição num padrão de resposta espectral na categoria pode ser descrita por um valor de média e pela matriz de covariância. Com esses parâmetros, é possível calcular a probabilidade estatística de um dado valor de pixel pertencente a uma classe particular de cobertura da terra (Lillesand & Kieffer, 1994). Foi considerado um limiar de classificação de 99%, repetindo o processo de classificação várias vezes até atingir um produto aceitável. Após foi feito um processo de pós classificação para eliminar pequenas áreas e uniformizar a classificação. Finalizada a classificação da imagem e para a quantificação das áreas correspondentes a cada classe, foi criado o modelo temático com seis classes temáticas.

Vetorização das classes temáticas e delimitação da mata ciliar

Para melhor análise dos polígonos gerados, as classes foram vetorizadas, utilizando o SPRING e fazendo a conversão da matriz gerada a formato shape. Cada uma das camadas geradas em formato shape foram importadas para o QGIS Desktop 2.18, onde foram processadas.

Primeiramente foi estabelecido o polígono correspondente ao espelho de água das barragens e definido pela classe “corpos_água”, obtido mediante a classificação da imagem

IKONOS de data julho de 2009, mês considerado de máximo nível de água nos reservatórios. Seguidamente foi criada uma segunda área com um buffer de 30 m tomando como contorno externo o polígono anterior. Foi feito um CLIP entre ambos polígonos, tendo como produto um polígono correspondente à mata ciliar, que utilizou-se para recortar os shapes das classificações.

Quantificação da evolução das classes temáticas como parte da mata ciliar

O estabelecimento das variações ao longo do tempo foi feito partindo da totalização das áreas das classes analisadas e determinadas para a mata ciliar de ambos reservatórios, para o ano 2009 e 2019; as mudanças existentes foram determinadas pela simples comparação destes dois grupos de dados, verificando-se os resultados nas tabelas e gráficos apresentados nos resultados.

3. Resultados e discussão

Comparação das áreas classificadas para a barragem Goitá, ano 2009 e 2019

Na Tabela 1, observa-se a distribuição absoluta em km² e percentual das classes determinadas para o reservatório Goitá para os anos 2009 e 2019. Os resultados determinados ao final da classificação supervisionada para a área correspondente com a mata ciliar do reservatório Goitá, totalizaram 2.2975 km², desta área para o ano 2009, obteve-se que 1.57% estava ocupada com água, 26.85% com mata, 5.15% com cana de açúcar, 30.93% com pastos, 0.39% com estradas, 33.83% área sem cobertura e outras áreas 1.28%. Para o ano 2019, obteve-se que 0.41% estava ocupada com água, 50.26% com mata, 9.16% com cana de açúcar, 15.68% com pastos, 0.98% com estradas, 23.26% área sem cobertura e outras áreas 0.26%.

Tabela 1. Distribuição absoluta e percentual das classes determinadas para a área de mata ciliar do reservatório Goitá, ano 2009 e 2019.

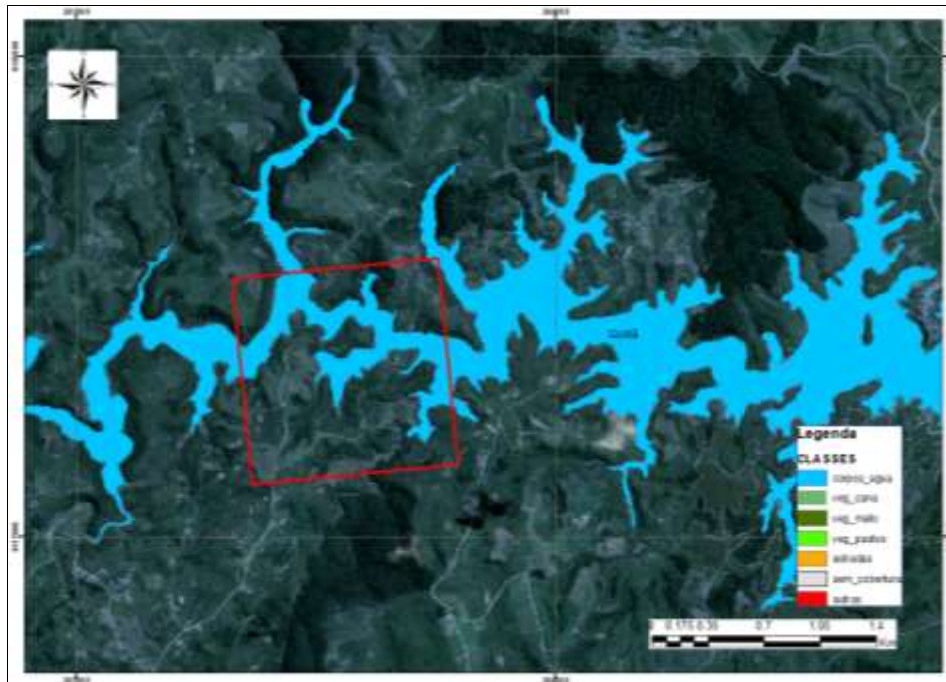
Classes	2009		2019	
	km ²	%	km ²	%
Corpos água	0.0362	1.57%	0.0094	0.41%
Estradas	0.0091	0.39%	0.0224	0.98%
Sem cobertura	0.7772	33.83%	0.5344	23.26%
Cana	0.1182	5.15%	0.2104	9.16%
Mata	0.6170	26.85%	1.1548	50.26%
Pastos	0.7106	30.93%	0.3602	15.68%
Outros	0.0293	1.28%	0.0059	0.26%
TOTAL	2.2975	100.00%	2.2975	100.00%

Fonte: Autores.

Analisando a Tabela 1, pode observar-se que no período 2009 e 2019, existe um decréscimo da superfície dos corpos de água correspondente basicamente a riachos, que pode ser explicado pela diferença de data de captura das imagens de satélite, pois a imagem correspondente a 2009 foi tomada no período posterior as chuvas regionais, tendo a área em análise uma maior disponibilidade hídrica, a diferença da imagem de 2019 que foi capturada num período ligeiramente diferente ao anterior.

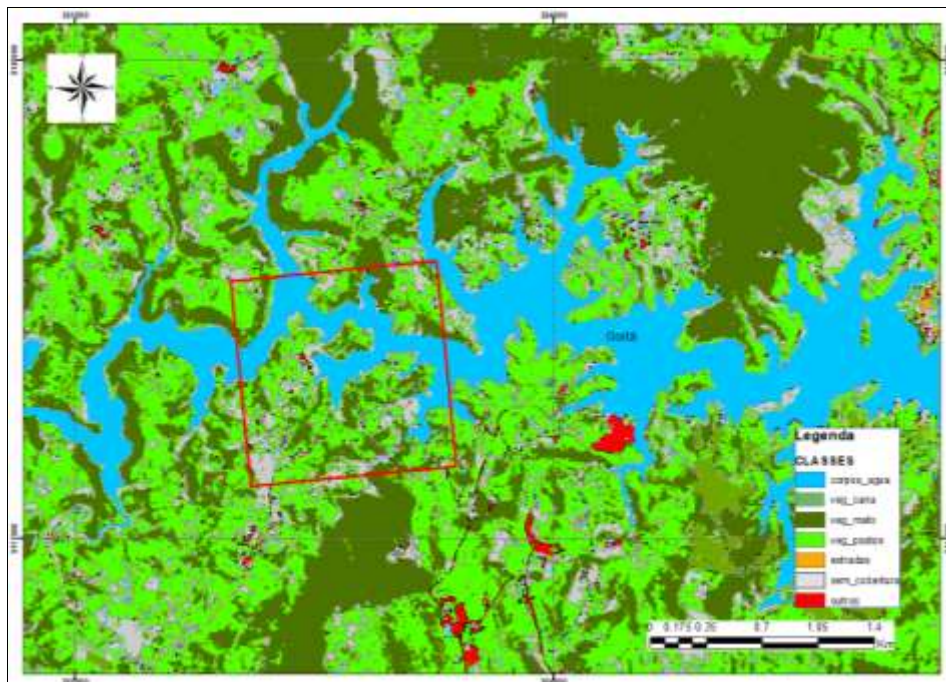
As composições de bandas espectrais foram realizadas para permitir uma posterior classificação de imagem, de modo que as frações do solo, dos corpos de água e áreas com coberturas de matas (atividades de plantio) fossem identificados. De início foram realizadas as composições coloridas verdadeira e falsa cor utilizando os produtos da aplicação da máscara. Para a composição colorida verdadeira em RGB da imagem do satélite IKONOS para o ano 2009 do reservatório Goitá, os resultados são expostos na Figura 2. Já os resultados da composição falsa cor estão apresentados na Figura 3.

Figura 2. Composição colorida em RGB da imagem do satélite IKONOS para o ano 2009 do reservatório Goitá.



Fonte: Zamora et al., (2020).

Figura 3. Classificação supervisionada para o reservatório Goitá.

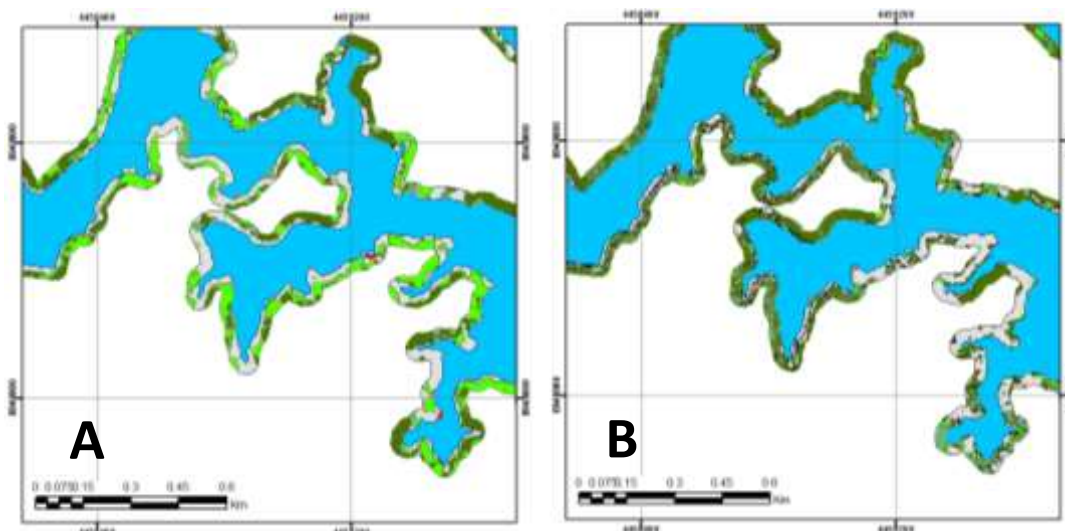


Fonte: Zamora et al., (2020).

Sob as imagens de falsa cor foi realizada a coleta das amostras dos diferentes alvos/classes e posteriormente realizada as classificações (Figura 3). A partir disto foi possível as feições geográficas presentes nesta área. Para a classificação adotou-se a seguinte tipologias de paisagem de áreas de vegetação, solo exposto, áreas urbanas, lagoas e rios. Comparando os resultados das duas composições, pôde-se afirmar que a composição falsa cor teve um melhor realce dos corpos d'água e principalmente áreas atividades de plantio e frações de solo em cor vermelha.

Referente à área com maior mudança observada, se dá na mata, incrementando-se de 26,85% para 50,26%, indicando um acréscimo do 23,41% num período de 10 anos, isto devido à execução de práticas de recuperação, proteção e preservação das principais nascentes e entorno do reservatório, implementadas pelo Projeto de Sustentabilidade Hídrica desenvolvido pelo Governo Estadual de Pernambuco, sendo desenvolvidas atividades de plantio de mudas para a recomposição da mata ciliar, isto pode ser claramente visualizado na Figura 3 onde é possível observar o passo de uma área sem cobertura e maior porcentagem de pastos (Figura 4A), para uma área com maior adensamento da mata (Figura 4B).

Figura 4. Áreas que indicam mudança temporal da cobertura vegetal na barragem Goitá. A) Áreas com predominância de pastos e áreas sem cobertura nas margens do espelho de água; B) Incremento e adensamento da mata ciliar nas áreas de preservação.



Fonte: Zamora et al., (2020).

Com relação às mudanças nas áreas de cana de açúcar, também são evidentes passando de 5,15% a 9,16% no período estudado, o que indica o pouco compromisso de

alguns agricultores que contrário às atividades de conservação, continuam com a exploração desta cultura nas áreas destinadas a preservação segundo o regulado pela lei Nº 12.651.

Identificou-se também a classe estradas, que teve uma variação de 0.39% para 0.98%, não sendo tão importante quanto as outras classes. Da mesma forma no referente à classe “Outros”, representa uma menor porcentagem da área estudada, correspondendo a outras áreas antropizadas de menor importância, não identificadas na classificação feita.

Comparação das áreas classificadas para a barragem Tapacurá, ano 2009 e 2019

Na Tabela 2, pode se ver a distribuição absoluta em km² e percentual das classes determinadas para os anos 2009 e 2019. Os resultados ao final da classificação supervisionada para a área correspondente à mata ciliar do reservatório Tapacurá, totalizaram uma área de 1.8858 km², desta área para o ano 2009, obteve-se que 0.61% estava ocupada com água, 27.01% com mata, 11.14% com cana de açúcar, 17.51% com pastos, 0.18% com estradas, 36.07% da área sem cobertura e outras áreas 7.48%. Para o ano 2019, obteve-se que 0.29% estava ocupada com água, 44.84% com mata, 11.60% com cana de açúcar, 25.94% com pastos, 0.23% com estradas, 16.90% da área sem cobertura e outras áreas 0.21%.

Tabela 2. Distribuição absoluta e percentual das classes determinadas para a área de mata ciliar do reservatório Tapacurá, ano 2009 e 2019.

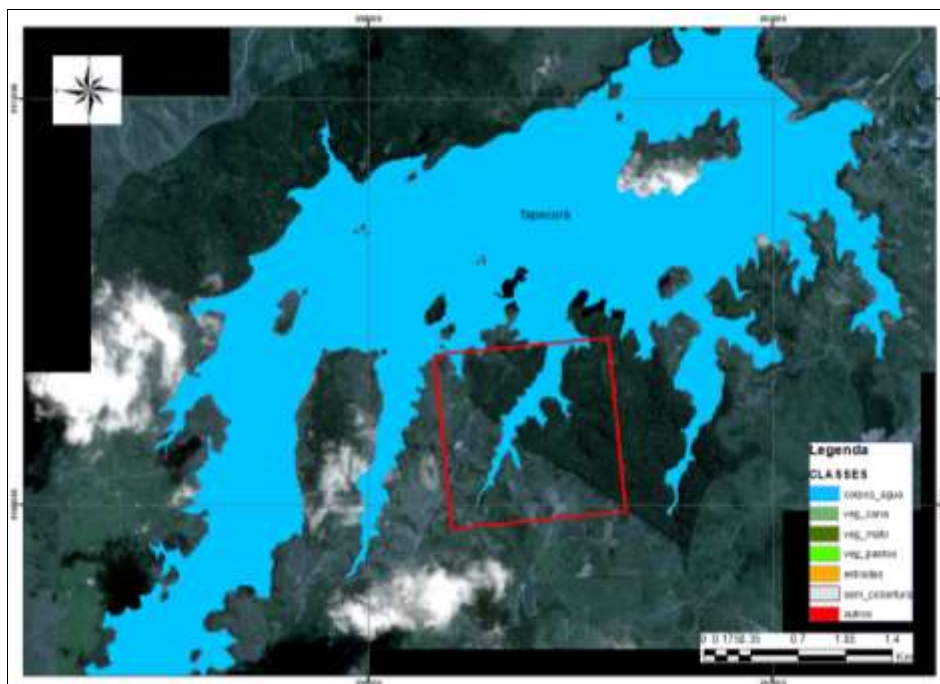
Classes/anos	2009		2019	
	km ²	%	km ²	%
Corpos água	0.0114	0.61%	0.0054	0.29%
Estradas	0.0035	0.18%	0.0044	0.23%
Sem cobertura	0.6803	36.07%	0.3187	16.90%
Cana de açúcar	0.2100	11.14%	0.2187	11.60%
Mata	0.5093	27.01%	0.8455	44.84%
Pastos	0.3302	17.51%	0.4891	25.94%
Outros	0.1411	7.48%	0.0040	0.21%
TOTAL	1.8858	100.00%	1.8858	100.00%

Fonte: Autores.

Analisando a Tabela 2, pode se observar no período 2009 ao 2019 há um decréscimo da superfície dos corpos de água correspondente basicamente a riachos, que pode ser explicado, como no caso do reservatório Goitá, pela diferença de data de captura das imagens de satélite, pois a imagem correspondente ao 2009 foi tomada no período posterior as chuvas regionais, tendo a área em análise uma maior disponibilidade hídrica, a diferencia da imagem de 2019, que foi capturada num período ligeiramente diferente ao anterior.

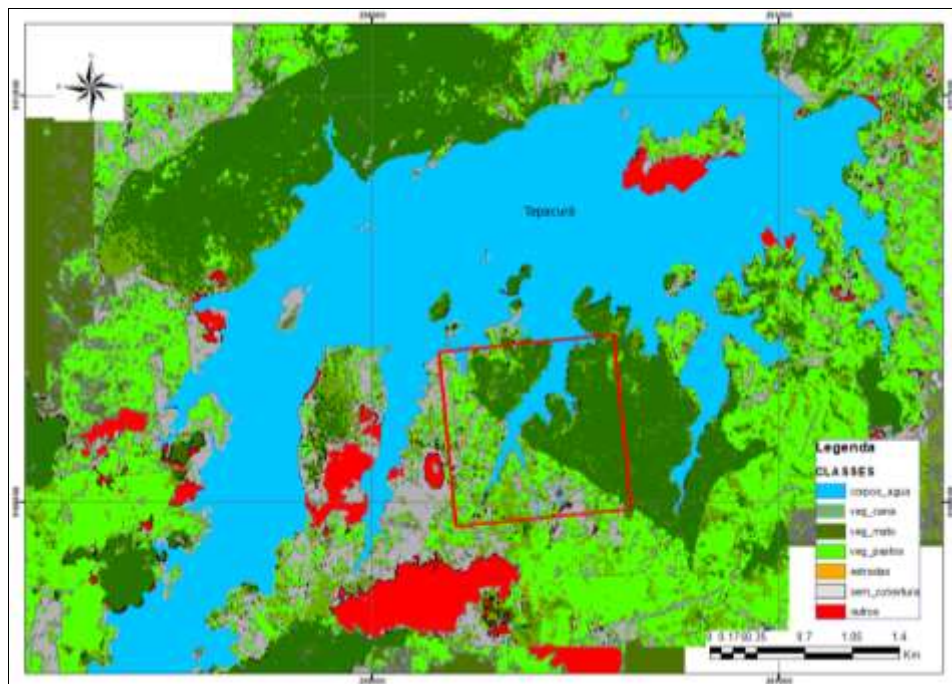
A composição colorida das imagens fração (solo, vegetação e sombra) melhor diferencia as classes temáticas em relação à imagem da composição colorida em RGB do satélite IKONOS do reservatório Tapacurá (Figura 5). Já os resultados da composição falsa cor estão apresentados na Figura 6, onde identificam-se a diferenciação entre as áreas de matas ciliares e de vegetação, bem como os realce dos corpos d'água das frações de solo em cor vermelha.

Figura 5. Composição colorida em RGB do satélite IKONOS para o ano 2009 do reservatório Tapacurá.



Fonte: Zamora et al., (2020).

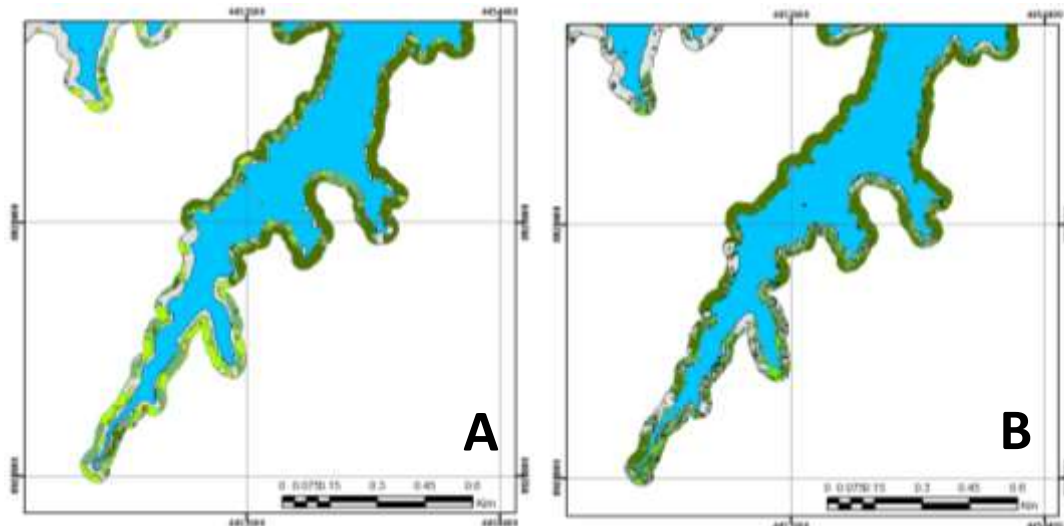
Figura 6. Classificação supervisionada reservatório Tapacurá.



Fonte: Zamora et al., (2020).

Referente à área com maior mudança observada neste reservatório, se dá na mata, incrementando-se de 27.01% para 44.84%, o que indica um acréscimo do 17.83% num período de 10 anos, isto devido à execução de práticas de recuperação, proteção e preservação das principais nascentes e entorno do reservatório, implementadas pelo Projeto de Sustentabilidade Hídrica desenvolvido pelo Governo Estadual de Pernambuco, sendo desenvolvidas atividades de plantio de mudas para a recomposição da mata ciliar, isto pode ser visualizado na Figura 7, onde se observa o passo da área sem cobertura e de uma área com maior porcentagem de pastos (Figura 7A), para uma área com maior adensamento da mata (Figura 7B).

Figura 7. Áreas que indicam mudança temporal da cobertura vegetal na barragem Tapacurá. A) Áreas com predominância de pastos e sem cobertura nas margens do espelho de água. B) Incremento e adensamento do mato ciliar nas áreas de preservação.



Fonte: Zamora et al., (2020).

Com relação às mudanças nas áreas de cana de açúcar, não são tão significativas quanto ao reservatório Goitá (5.15% para 9.16%), podendo-se dever as condições edafológicas desfavoráveis, o que dificultaria a implantação da cultura de cana de açúcar, porém, a normatividade deve de aplicar-se a esta porcentagem das áreas que vem sendo exploradas, tornando-as para a preservação segundo o regulado pela lei Nº 12.651.

Quanto a classe estradas, teve uma variação de 0.18% para 0.23%, não sendo tão importante quanto as outras classes. Da mesma forma no referente à classe “Outros” representa uma menor porcentagem da área estudada, correspondendo a outras áreas antropizadas de menor importância, não identificadas na classificação feita.

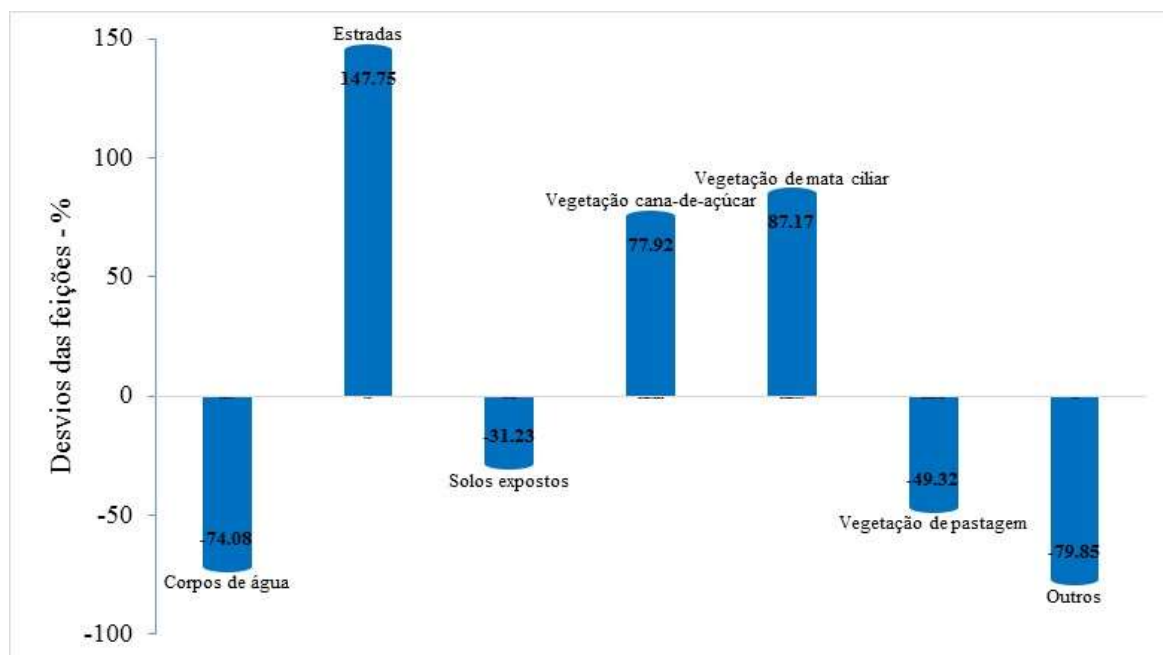
Resultado das medidas de conservação implementadas para a conservação da mata ciliar

Conforme consolidação do estudo das áreas de cada classe mapeada para os reservatórios Goitá e Tapacurá para os períodos 2009 e 2019, conforme Tabelas 1 e 2, detectou-se que no período analisado houve um aumento da área de vegetação e uma diminuição da área sem coberturas com aumento dos corpos de água para o reservatório Goitá. Porém uma diminuição dos corpos de água para o reservatório Tapacurá. Além disso,

houve um aumento das áreas urbanas (estradas). A partir classificação dos reservatórios Goitá e Tapacurá, utilizando imagens IKONOS e Google Earth, geraram-se mapas de uso e ocupação do solo com as suas as feições geográficas presentes nesta área para os anos 2009 e 2019. Realizou-se os cálculos das áreas e dos percentuais o objetivo de reconhecer as feições geográficas das áreas de estudo, com o objetivo de identificar a mudança das feições das áreas no período analisado, conforme será apresentado nas Figuras 8 e 9.

A Figura 8 ilustrando as mudanças das feições da área (corpos de água, estradas, solo expostos, áreas com coberturas (cana-de-açúcar, mata e pastagem) e outros, no período analisado por meio do índice desvio em percentual.

Figura 8. Mudança em percentual das feições da área no período de 2009-2019 no reservatório Goitá.



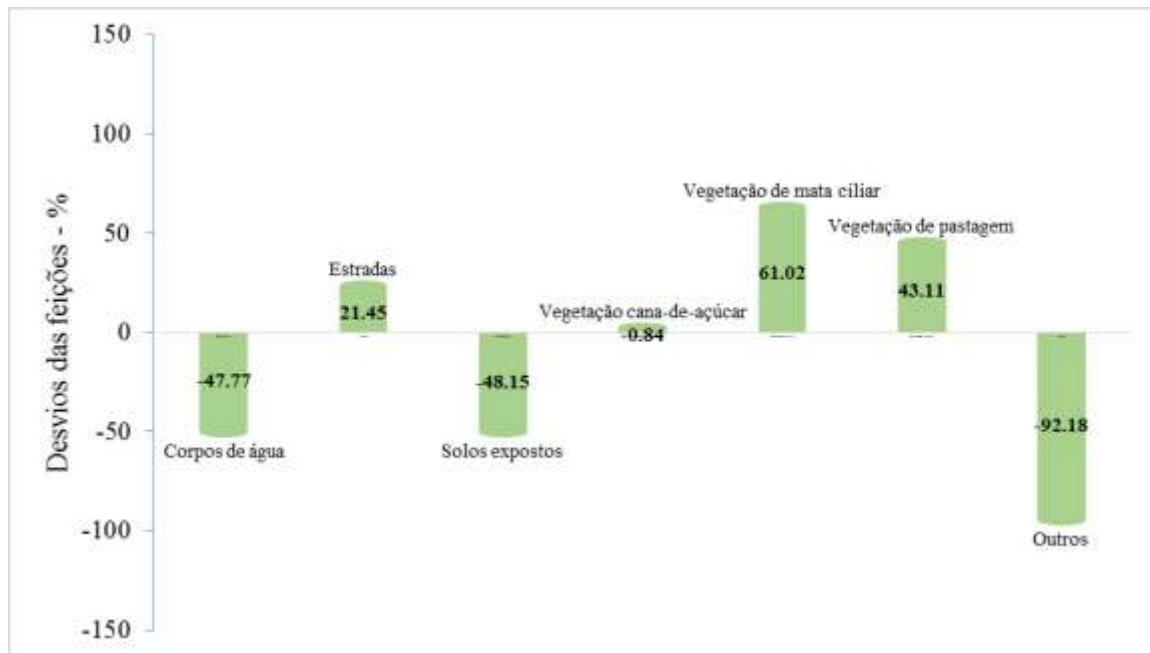
Fonte: Zamora et al., (2020).

A partir dos resultados obtidos, pode-se analisar que as classes de feições estradas, vegetação de cana-de-açúcar e mata ciliar, apresentaram um aumento de aproximadamente 147,73; 77,92 e 87,17% de área no período de 2009 e 2019. A diminuição da classe corpos de água, solos expostos, pastagem e outros ocorreu de forma gradativa (percentuais de desvios menores) entre os anos de 2009 e 2019.

A Figura 9 demonstram-se as mudanças, em percentual, nas classes temáticas estudadas entre os anos de 2009 e 2019. As áreas de estradas, vegetação de cana-de-açúcar,

matar ciliar e pastagem, apresentaram um aumento de aproximadamente 21,45; 0,84; 61,02 e 43,11% de área no período de 2009 e 2019. Comportamento de mudanças semelhante em relação ao reservatório Goitá, com exceção da área de vegetação com pastagem que houve um decréscimo.

Figura 9. Mudança em percentual das feições da área no período de 2009-2019 no reservatório Tapacurá.



Fonte: Zamora et al., (2020).

As áreas de mata ciliar são predominantes nos reservatórios Goitá e Tapacurá, sendo uma das mais importantes para conservação do meio ambiente. Apresentou-se um aumento de aproximadamente 87,17 e 61,02% da área dos reservatórios Goitá e Tapacurá, respectivamente, no período de 10 anos. As áreas de matas ciliares são consideradas áreas de preservação permanente segundo o código florestal.

Pelas Figuras 8 e 9, verifica-se que as feições de áreas temáticas que apresentaram maiores mudanças ao longo da época de estudo, compreendida entre os anos 2009 e 2019, foram estradas e mata ciliar. Segundo A dinâmica do uso e ocupação da terra é de grande importância, podendo indicar as fragilidades do ambiente, consequências da relação entre a sociedade e a natureza. Os usos antrópicos demandam por extensões de terra para o seu processo de produção econômica que, na maioria das vezes, não condizem com a realização de práticas sustentáveis em relação ao meio ambiente

A implementação das medidas de conservação pelo Projeto de Sustentabilidade Hídrica desenvolvido pelo governo do estado de Pernambuco, na área de influência dos reservatórios Goitá e Tapacurá, vem tendo resultados positivos na recuperação e acréscimo na vegetação correspondente na mata ciliar, povoando áreas inicialmente sem cobertura com espécies vegetais próprias da mesorregião Mata Pernambucana (Figuras 8 e 9), o que indica que a política tomada pela autoridade foi correta e melhora as condições ecológicas, assim como as condições de vida da população residente na zona.

É importante ressaltar que ainda os reservatórios estão alocados na zona de abrangência da mesorregião metropolitana de Recife (Goitá a 9 km de São Lourenço da Mata e Tapacurá a 12 km de Vitoria de Santo Antão), é possível conseguir resultados positivos pela correta aplicação de medidas de conservação implementadas, todo da mão da população corretamente informada e tendo interiorizada a sua responsabilidade com o médio ambiente.

4. Considerações Finais

A utilização do software SPRING permitiu a classificação supervisionada em seis classes, pelo método da máxima verossimilhança, e posterior avaliação da mata ciliar dos reservatórios Goitá e Tapacurá para os anos 2009 e 2019, mostrando resultados satisfatórios, que contribuíram ao bom gerenciamento das áreas avaliadas, priorizando atividades de conservação.

Verificou-se a mudança temporal das áreas classificadas correspondentes à mata ciliar, tendo um incremento da classe mata, e uma redução das áreas sem cobertura e de pastos, sendo isto constatado mediante o uso das técnicas de sensoriamento remoto.

Os cálculos obtidos a partir das classificações supervisionadas, mostram que as práticas de conservação implementadas nas áreas avaliadas pelo Governo de Estado, vem tendo resultados favoráveis para o ecossistema.

Para melhor seguimento e melhoras das condições atuais, recomendasse a realização de novas pesquisas na mata ciliar com imagens mais recentes e acrescentar o trabalho de campo para a recopilação de dados físicos e melhorar a classificação feita, especificando a natureza das espécies vegetais presentes em cada classe.

Referências

- Andrade, C. M., Gomes, C. T. S., Aragão-Tavares, N. K. C., Silva, E. M. & Lira, G. A. S. T. (2009). Estrutura da comunidade fitoplanctônica com ênfase em Cyanobacteria no reservatório de Tapacurá-PE. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 68, 109-117.
- Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Bacias Hidrográficas: Rio Capibaribe. (2017). Recuperado de http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=14.
- Brasil. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. (2012). Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Portal Planalto. Recuperado de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/Lei/112651.htm.
- Camdessus, M., Badré, B., Chéret, I. & Ténière-Buchot, P. F. (2010). Água: Oito milhões de mortos por ano. Um escândalo mundial. Rio de Janeiro, Brasil. 272.
- Costa, M. D. P., Nappo, M. E., Caçador, F. R. D., Henrique, H., & Barros, D. D. (2010). Avaliação do processo de reabilitação de um trecho de floresta ciliar na Bacia do Rio Itapemirim-ES. *Revista Arvore*, 34(5), 835-851.
- Ferreira, F., Zonta, L. V., Pereira, F. V., & de Oliveira, M. V. B. (2020). Parâmetros bióticos e abióticos de um ambiente de mata ciliar em estágio inicial de recuperação. *revista ponto de vista*, 9(2), 54-66.
- Hantson, S., Chuvieco, E., Pons, X., Domingo, C., Cea, C., Moré, G., Cristobal, J., Peces, J.J. & Tejeiro, J.A. (2011). Cadena de pre-procesamiento estándar para las imágenes Landsat del Plan Nacional de Teledetección. *Revista de Teledetección*, 36, 51–61.
- Jales, M. C., Feitosa, F. A. N., Koenig, M. L., Bastos, R. B. & Machado, R. C. A. (2012). O Ecossistema recifal de Serrambi (nordeste do Brasil): Biomassa Fitoplanctônica e Parâmetros Hidrológicos. *Atlântica*, 34(2), 87-102.
- Lillesand, T. M. & Kiefer, R. W. (1994). Remote sensing and image interpretation. Chichester, Inglaterra. 750.

Lopes, M. S. (2011). Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo de mudanças de uso e cobertura da terra na Ottobacia – nível 4 do rio Jacuí. Projeto (PIBIC/CNPq/INPE), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São Paulo.

Magalhães, S. E. F. & Pimentel, R. M. (2013). Matas Ciliares - Análise Histórica dos Estudos Relacionados ao Tema. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6, 49-57.

Moreira, M. A. (2005). Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Viçosa, Brasil. 320.

Primo, D. C. & Vaz, L. M. S. (2006). Degradação e perturbação ambiental em matas ripárias: estudo de caso do rio Itapicuru-Açu em Ponto Novo e Filadélfia Bahia. *Diálogos & Ciência*, 7, 1-11.

Ramos, G. G., Alves, J. B., de Araújo, M. D. F., Ferreira, V. S. G., Pinto, M. G. C., de Holanda Leite, M. J., ... & Ribeiro, I. R. (2020). Levantamento dos impactos ambientais de um trecho de mata ciliar em região de Caatinga no sertão paraibano. *Brazilian Journal of Development*, 6(7), 52848-52859.

Secretaria de recursos hídricos e energéticos (SRHE). Ações Realizadas. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos. (2012). Recuperado de http://www.srhe.pe.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=292&Itemid=105.

Secretaria de recursos hídricos (SRH). Manual de operações do projeto - volume I, Projeto de Sustentabilidade Hídrica - PSHPE. Companhia Pernambucana de saneamento – COMPESA, Governo do Estado de Pernambuco. (2009). Recuperado de http://www.sirh.srh.pe.gov.br/site/attachments/article/309/MANUAL%20DE%20OPERA%C3%87OES_PSHPE.pdf.

Secretaria de recursos hídricos e energéticos (SRHE). Barragem de Goitá será recuperada. (2009). Recuperado de http://www.srhe.pe.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=142:barragem-de-goita-sera-recuperada-&catid=1:latest-news&Itemid=72.

Silva, K. D. A., Martins, S. V., Miranda Neto, A., & Campos, W. H. (2015). Semeadura direta com transposição de serapilheira como metodologia de restauração ecológica. *Revista Árvore*, 39(5), 811-820.

Sousa, B. F. S., Teixeira, A. S. T., Oliveira Leão, R. A. & Costa Filho, A. B. (2007). Uso do solo da bacia hidrográfica do Alto Piauí através de imagens do satélite CBERS. *Revista Ciências Agronômicas*, 38(4), 327-334.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Valentin Rubén Orcón Zamora – 70%

Adiel Felipe da Silva Cruz – 10%

Antônio Ricardo Santos de Andrade – 10%

Edijailson Gonçalves da Silva – 2,5%

Emylle Kerolayne Palmeira de Andrade – 2,5%

Jéssica Dayana de Souza Silva – 2,5%

Edes Torres da Silva – 2,5%