

**IV-1227 – RECURSOS HÍDRICOS: PLANEJAMENTO, GESTÃO, APROVEITAMENTO, CONTROLE DA POLUIÇÃO HÍDRICA, POLÍTICAS E ESTUDOS AVALIATIVOS
INDICADORES AMBIENTAIS PARA MONITORAMENTO DAS AÇÕES DE RESTAURAÇÃO FLORESTAL DO PROGRAMA PRÓ-MANANCIAIS**

Arian Alves Ferreira Gonçalves⁽¹⁾

Graduando em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Telefone e e-mail⁽¹⁾: (31) 99584-6624 / a.alvesfg19@gmail.com

Luís Felipe Lima do Carmo⁽²⁾

Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais. Especialização em Recursos Hídricos pelo Instituto de Ciências Biológicas (ICB / UFMG). Analista de Saneamento da COPASA.

Telefone e e-mail⁽²⁾: (31) 3250-1341 / (31) 98852-0178 / luís.carmo@copasa.com.br

Maíra Fares Leite⁽³⁾

Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais. Especialização em Saneamento e Tecnologia Ambiental pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA / UFMG). Mestrado em Água e Sociedade pela Université Montpellier. Analista de Saneamento da COPASA.

Telefone e e-mail⁽³⁾: (31) 3250-1115 / (31) 99694-6674 / maira.fares@copasa.com.br

Tiago Marques Leite⁽⁴⁾

Graduando em Geografia pela Universidade Federal de Minas Gerais.

Telefone e e-mail⁽⁴⁾: (31) 7363-4144 / tiagomarquesl@hotmail.com

Endereço: Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA / MG – Rua Mar de Espanha, 453 – Santo Antônio – Belo Horizonte – MG – Brasil – CEP 30330-900

RESUMO

Indicadores ambientais são ferramentas muito importantes pois subsidiam informações sobre como a gestão ambiental está sendo conduzida e quais são os resultados a serem alcançados com a implantação das ações de melhoria.

Nesse contexto, foi avaliada a efetividade das ações de plantio e cercamento executadas no programa Pró-Mananciais nas sub-bacias à montante de captações de água, no âmbito do estado de Minas Gerais.

A utilização dos indicadores, inclusive com metodologia desenvolvida internamente, foi capaz de demonstrar o sucesso na recomposição da saúde da vegetação nas Áreas de Proteção Permanente.

PALAVRAS-CHAVE: Indicadores, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento, Restauração, Áreas de Preservação Permanente.

INTRODUÇÃO

O Programa Pró-Mananciais possui como objetivo geral a proteção e recuperação das microbacias hidrográficas e áreas de recarga dos mananciais de captação para o abastecimento público. O Programa atua

com diversas ações de restauração ecossistêmica e de solo e água, como as de cercamento de nascentes e plantio em Áreas de Preservação Permanente - APP.

A recuperação da vegetação, principalmente em APP, é um dos pilares do Programa Pró-Mananciais, devido aos diversos serviços ambientais gerados por ela, que contribuem na melhoria da qualidade e quantidade da água, gerando redução de custos operacionais e promovendo segurança hídrica para a população atendida.

No guia para la Evaluación de Intervenciones en Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica, publicado pela Forest Trends Association afirma que:

Projetos de infraestrutura natural adequadamente concebidos e gerenciados contribuem para melhorar a qualidade e garantir a quantidade de água fornecida, protegendo os solos da erosão e controlando o impacto de eventos naturais extremos em contextos de mudanças climáticas. Existe um crescente reconhecimento quanto à contribuição da infraestrutura natural para reduzir custos e diminuir riscos, a partir do qual vêm sendo desenvolvidas intervenções para a conservação de bacias hidrográficas (Cassin e Locatelli, 2020).

Na perspectiva do monitoramento da recuperação da vegetação nas áreas onde ocorreram as ações de cercamento e plantio executadas pelo Programa, estão sendo implementados na empresa indicadores ambientais, como o NDVI - Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e o % de APP da bacia trabalhada, que iremos detalhar a seguir, objetivando a restauração e conservação do solo e água e também a melhoria da qualidade e quantidade do recurso hídrico disponível.

OBJETIVO DO TRABALHO

O objetivo do trabalho é apresentar a metodologia e resultados dos indicadores ambientais propostos para acompanhamento da recomposição vegetal nas áreas das ações de plantio de espécies nativas e cercamento das Áreas de Preservação Permanente - APP, abrangidas pelo programa Pró-Mananciais.

MEDOTOLOGIA UTILIZADA

Os indicadores têm como objetivo acompanhar a evolução da recomposição vegetal nas áreas trabalhadas pelo programa Pró-Mananciais. Portanto, foram desenvolvidos, num primeiro momento, para os municípios piloto, os índices NDVI e % de Área de APP, para um monitoramento quantitativo da evolução da cobertura vegetal nas áreas de atuação do programa.

Para o desenvolvimento metodológico foram selecionados cinco municípios em diferentes regiões do estado de Minas Gerais: Araxá, Campos Gerais, Conselheiro Lafaiete, Espinosa e Iapú (figura 1).

Localização dos municípios pilotos em Minas Gerais

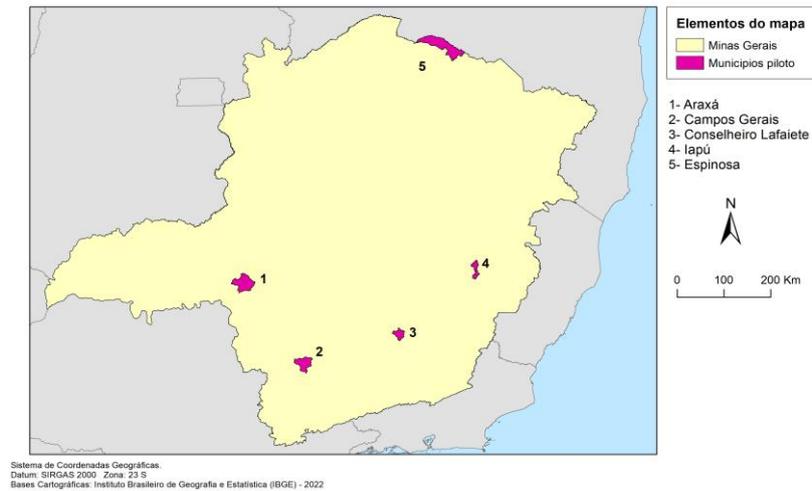


Figura 1: Municípios piloto - Indicadores

Foram desenvolvidos dois indicadores: o NDVI e % área de APP na bacia. As metodologias desenvolvidas serão detalhadas a seguir.

NDVI

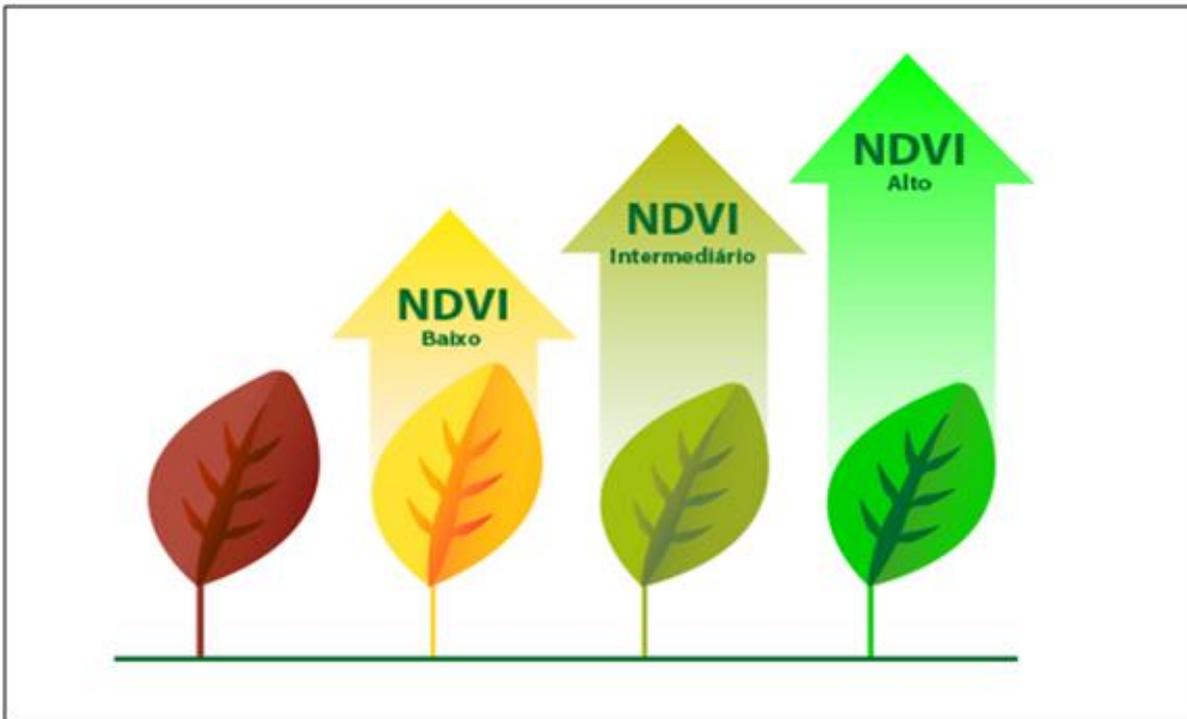


Figura 2: Categorias – NDVI

Para o monitoramento em larga escala das ações de proteção que se distribuem pela extensão territorial do município, reconheceu-se que o índice espectral NDVI se constituiria como a melhor ferramenta aplicável à análise em escala de microbacias, em função da abrangência da análise espacial que as imagens de satélite.

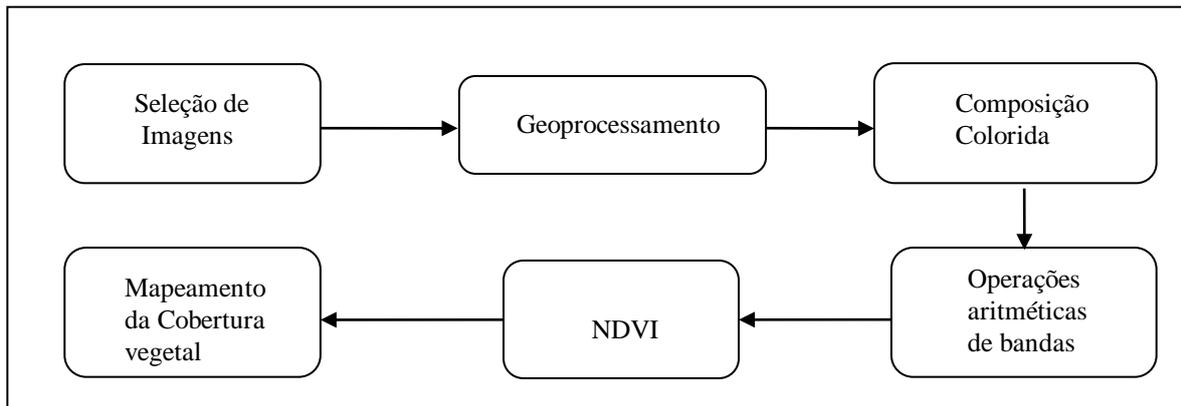


Figura 3: NDVI – Metodologia aplicada

As imagens obtidas com o uso do NDVI são resultantes da presença dos pigmentos existentes nas folhas (clorofilas, xantofilas e carotenoides) e a estrutura celular da sua superfície, classificando a vegetação com base na atividade clorofiliana.

NDVI – Metodologia da empresa

O acompanhamento das ações se estrutura em um trabalho estatístico utilizando o Indicador NDVI. Com base nos dados observados, chegou-se à conclusão que seria necessário um tempo mínimo de três anos para evidenciarmos nas imagens as melhorias almejadas nos índices. As imagens utilizadas para a composição do NDVI foram às do mês de março, por ser o mês de fim das chuvas, portanto, com melhores condições da vegetação, proporcionando maiores valores do indicador aplicado.

O NDVI foi determinado em dois anos distintos, na expectativa de verificar as mudanças ocorridas em termos de cobertura vegetal no período analisado. Houve o cuidado com as datas e períodos das imagens de satélite a serem utilizadas para o NDVI, pois a mesma sofre variação considerável na fitomassa durante o ano, especialmente quando se compara a vegetação no período chuvoso com o de estiagem.

O artigo Monitoramento de Ações de Restauração Vegetal e Conservação de Nascentes por Técnicas de Sensoriamento Remoto – Os Efeitos do Programa Pró-Mananciais da empresa no Município de Espinosa, afirma que:

A metodologia aplicada para o acompanhamento das ações se estrutura em um trabalho estatístico utilizando o Indicador NDVI. Para a aplicação do índice na área de estudo em questão, foram selecionadas imagens do satélite Sentinel-2 (sensor MSI) dos anos de 2018, ano de execução das ações de plantio de espécies e cercamento para proteção ou regeneração natural, e 2021, usando como referência o mês de maio para ambas imagens, através do endereço institucional e de pesquisa da USGS - United States Geological Survey, com resolução de 10 m² para as bandas multiespectrais. As composições coloridas e a álgebra das bandas das imagens, assim como os layouts dos mapas e o tratamento dos dados vetoriais, foram feitos por meio do uso do software ESRI ArcMap 10.8 (Leite, T. M.; Gonçalves, A. A. F; Leite, M.F. 2022).

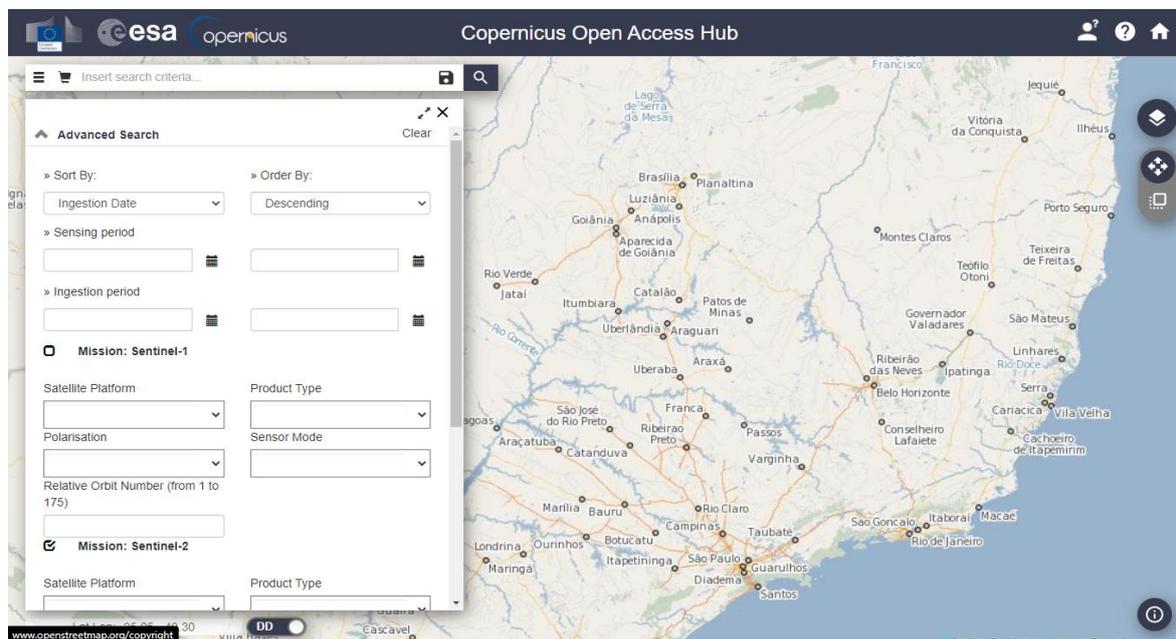


Figura 4: Download de imagens do Sentinel 2 no hub da ESA – European Space Agency

Para se fazer o cálculo do NDVI foram utilizadas as bandas espectrais 3 e 4, onde as mesmas representam o vermelho e o infra vermelho próximo, respectivamente, cuja diferença entre as bandas gera um índice da quantidade de vegetação da área entre valores de -1 e 1, em que frequentemente água e sombra de nuvens são representadas por valores negativos áreas de vegetação mais densa, ficam próximos dos valores positivos. A equação se apresenta da seguinte forma: $NDVI = \frac{\text{Infravermelho próximo} - \text{Vermelho}}{\text{Infravermelho próximo} + \text{Vermelho}}$. Foram criados pontos específicos de análise os índices de vegetação por diferença normalizada no qual foi possível ter uma melhor visualização da vegetação da região. Esses cálculos e procedimentos foram executados no software ArcGIS 10.8.

| Resolução | Nr da Banda | Nome da Banda | Comprimento de Onda Central (nanômetro) | Combinações de Bandas |
|-----------|-------------|-----------------------------|---|---|
| 10 m | B02 | Blue (Azul) | 490 | Cor Verdadeira RGB 04/03/02 Falsa Cor 1 e 2 RGB 08/04/03 e 04/08/03 |
| | B03 | Green (Verde) | 560 | |
| | B04 | Red (Vermelho) | 665 | |
| | B08 | NIR (Infravermelho Próximo) | 842 | |

Figura 5: Resolução espectral do satélite Sentinel 2

Os índices NDVI para as determinadas localidades foram obtidos por meio de uma classificação supervisionada das áreas selecionadas, na qual o algoritmo de classificação considera a média geral dos valores de cobertura vegetal evidenciado nos pixels das imagens.

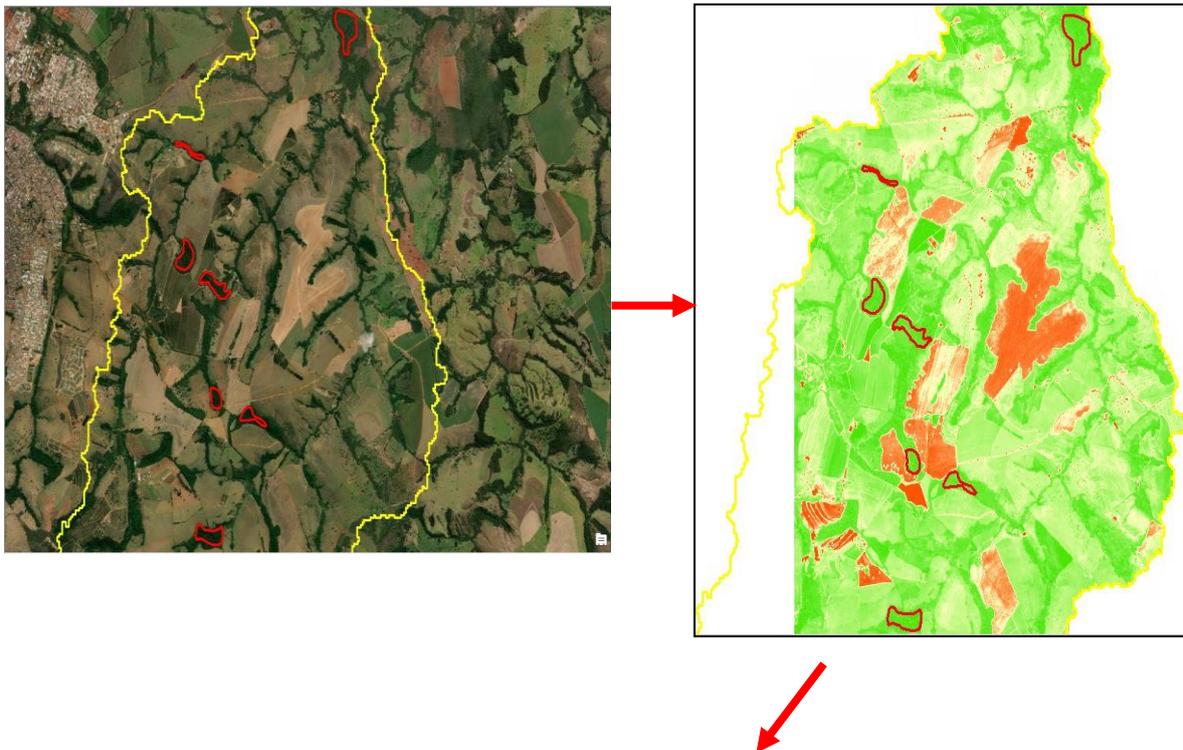
NDVI - Detalhamento da metodologia utilizada

Realizada a álgebra de bandas no ArcMap, o Raster gerado para cada um dos índices é convertido em uma camada shapefile do tipo ponto, com cada ponto contendo o valor do índice de um pixel da imagem, conforme figura a seguir.

| FID | Shape * | pointid | grid_code |
|-------|---------|---------|-----------|
| 33382 | Point | 916841 | 0,849554 |
| 33382 | Point | 916842 | 0,847511 |
| 33382 | Point | 916840 | 0,847318 |
| 33374 | Point | 916082 | 0,845829 |
| 33391 | Point | 917604 | 0,84247 |
| 33365 | Point | 915317 | 0,841767 |
| 33391 | Point | 917603 | 0,840824 |
| 33390 | Point | 917602 | 0,84013 |
| 33382 | Point | 916839 | 0,839963 |
| 33365 | Point | 915314 | 0,839589 |
| 33374 | Point | 916079 | 0,837912 |
| 33391 | Point | 917605 | 0,837724 |
| 33374 | Point | 916081 | 0,835611 |
| 33356 | Point | 914552 | 0,835561 |
| 33356 | Point | 914550 | 0,834796 |
| 33338 | Point | 913013 | 0,833673 |
| 33374 | Point | 916080 | 0,831971 |
| 33347 | Point | 913782 | 0,830744 |
| 33356 | Point | 914551 | 0,829068 |
| 33338 | Point | 913015 | 0,82831 |
| 33356 | Point | 914549 | 0,828271 |
| 33347 | Point | 913783 | 0,828129 |
| 33329 | Point | 912247 | 0,827528 |
| 28379 | Point | 749385 | 0,826105 |
| 33265 | Point | 906845 | 0,825864 |
| 33246 | Point | 905276 | 0,825298 |
| 29211 | Point | 771643 | 0,824965 |
| 33498 | Point | 928211 | 0,824901 |
| 33347 | Point | 913781 | 0,824296 |
| 33365 | Point | 915315 | 0,823229 |
| 33275 | Point | 907619 | 0,823229 |
| 33491 | Point | 927459 | 0,82314 |
| 33206 | Point | 902097 | 0,823009 |
| 33491 | Point | 927458 | 0,822725 |
| 28182 | Point | 744329 | 0,822261 |
| 13674 | Point | 349707 | 0,822241 |
| 33226 | Point | 903688 | 0,82218 |
| 78281 | Point | 746857 | 0,822146 |

Figura 6: Tabela de Atributos – NDVI

A partir de análises visuais são definidas áreas de porte vegetativo saudável dentro das bacias-alvo e por meio disso, são coletados polígonos amostrais de referência para consulta e comparação com os valores dos índices dos pontos situados dentro dos limites das ações de proteção do programa. Como exemplo, segue abaixo esquema que ilustra bem a metodologia utilizada no ArcMap referente ao município de Araxá, mesma metodologia aplicada nos demais municípios do Piloto.



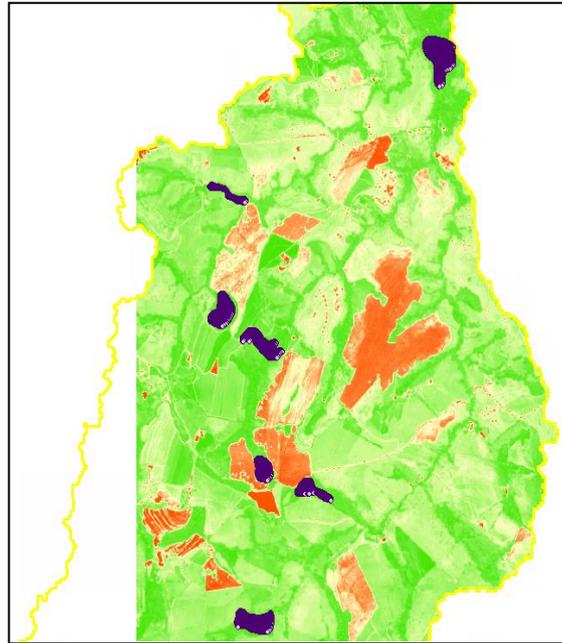


Figura 7: NDVI - Definição das áreas de amostragem

O ponto de valor médio registrado no índice e que esteja situado dentro do polígono amostral é assentado como o valor de referência na análise dos pixels das áreas das ações. Pixels que apresentem valores acima da média são considerados como vegetação satisfatória para a recarga e conservação dos mananciais, enquanto que pixels que apresentem valor abaixo da média apresentam densidade vegetativa insuficiente para a garantia da qualidade da água.

| FID | Shape * | pointid | grid_code |
|-------|---------|---------|-----------|
| 33382 | Point | 916841 | 0,849564 |
| 33382 | Point | 916842 | 0,847511 |
| 33382 | Point | 916840 | 0,847318 |
| 33374 | Point | 916082 | 0,845829 |
| 33391 | Point | 917604 | 0,84247 |
| 33365 | Point | 915317 | 0,841767 |
| 33391 | Point | 917603 | 0,840824 |
| 33390 | Point | 917602 | 0,84013 |
| 33382 | Point | 916839 | 0,839963 |
| 33365 | Point | 915314 | 0,839589 |
| 33374 | Point | 916079 | 0,837912 |
| 33391 | Point | 917605 | 0,837724 |
| 33374 | Point | 916081 | 0,835611 |
| 33356 | Point | 914552 | 0,835561 |
| 33356 | Point | 914550 | 0,834796 |
| 33338 | Point | 913013 | 0,833673 |
| 33374 | Point | 916080 | 0,831071 |
| 33347 | Point | 913782 | 0,830744 |
| 33356 | Point | 914551 | 0,829068 |
| 33338 | Point | 913015 | 0,82831 |
| 33356 | Point | 914549 | 0,828271 |
| 33347 | Point | 913783 | 0,828129 |
| 33329 | Point | 912247 | 0,827528 |
| 33379 | Point | 749385 | 0,826105 |
| 33265 | Point | 906845 | 0,825864 |
| 33246 | Point | 905276 | 0,825298 |
| 29211 | Point | 771643 | 0,824965 |
| 33498 | Point | 928211 | 0,824901 |
| 33347 | Point | 913781 | 0,824296 |
| 33365 | Point | 915315 | 0,82329 |
| 33275 | Point | 907619 | 0,823229 |
| 33491 | Point | 927459 | 0,82314 |
| 33206 | Point | 902097 | 0,823009 |
| 33491 | Point | 927458 | 0,822725 |
| 28182 | Point | 744329 | 0,822261 |
| 13674 | Point | 349707 | 0,822241 |
| 33226 | Point | 903688 | 0,82218 |
| 28281 | Point | 746857 | 0,822146 |

Valor médio encontrado

Figura 8: NDVI – Valor Médio na Tabela de Atributos

Após a conversão do índice em formato Raster para Shapefile, os pontos são contabilizados e separados em colunas com o número de pixels acima e com o número de pixels abaixo do valor de referência.

Estes valores são aplicados em fórmulas para o cálculo do Incremento dos índices espectrais nas áreas das ações.

Um alcance de 100% do indicador NDVI nas ações do Pró-Mananciais acima do valor de corte estabelecido (média do valor do NDVI encontrado na bacia), indica que nas áreas de intervenção houve ganho de 100% na qualidade da vegetação.

% de Área de Preservação Permanente - APP

Outro indicador ambiental desenvolvido foi o % de Área de Preservação Permanente - APP com ações de restauração (cercamento e plantio) nas bacias hidrográficas de atuação do Pró-Mananciais, com objetivo de monitorar o avanço da restauração e proteção nos municípios onde o Programa está sendo desenvolvido.

Este indicador consiste em quantificar o percentual das áreas trabalhadas (cercamento e plantio) em relação à área total das Áreas de Preservação Permanente - APP hídricas ideais nas bacias hidrográficas delimitadas para atuação do Programa. A APP hídrica ideal é considerada com margem de 30 metros de ambos os lados da hidrografia analisada e raio de 50 metros para as nascentes.

No ambiente do Sistema de Informações Geográficas - SIG (ArcMap) aplica-se a ferramenta “Buffer” nos parâmetros oficiais de APP anteriormente descritos, onde a resultante é o cálculo dessas áreas. Em sequência a esse valor encontrado, é realizado o cálculo da área total das ações trabalhadas pelo Pró-Mananciais (plantio e cercamento). Por fim se compara-se a área de APP com as áreas das ações para se obter o percentual da área restaurada.

A meta proposta é de 2% de crescimento anual de área de APP restaurada/conservada, com alcance total de 60% das áreas de APP. Essa meta sendo cumprida dará um prazo médio de recuperação/conservação das APP legais de 30 anos em cada município atendido pelo Pró-Mananciais.

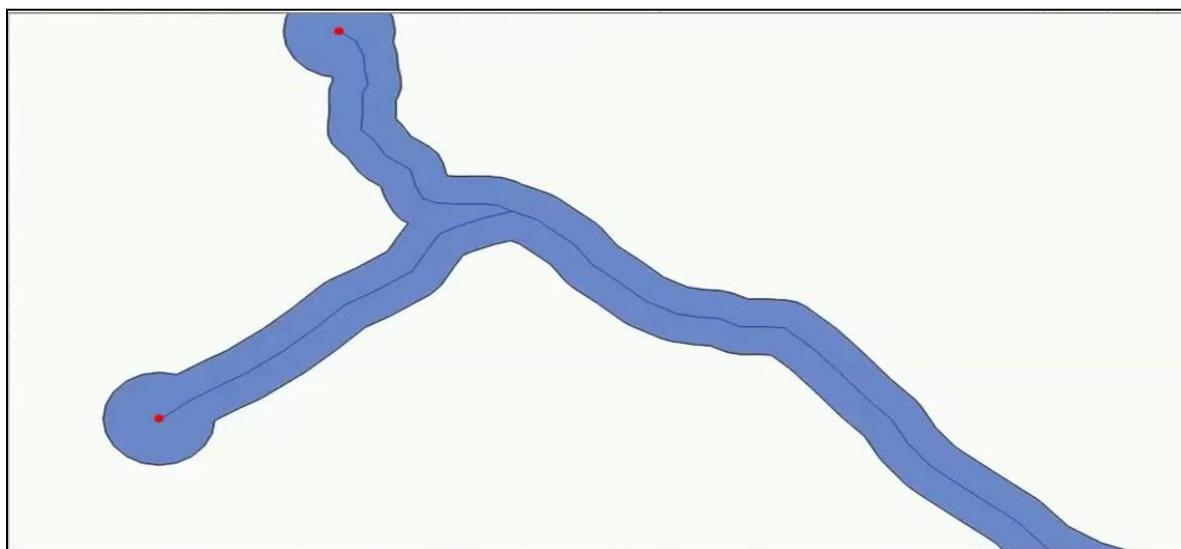


Figura 9: Ferramenta Buffer no ArcMap - Identificação de Área de APP

RESULTADOS

NDVI

No âmbito das ações do Programa Pró-Mananciais, o uso do indicador NDVI evidenciou resultados favoráveis no que diz respeito à melhora da saúde da vegetação nos polígonos de restauração trabalhados pelo

Programa. Através das respostas obtidas por esse indicador, foi possível identificar a influência das ações do programa na restauração ambiental das microbacias trabalhadas em um intervalo de tempo de 3 anos.

Observamos a seguir exemplo da aplicação do NDVI nas áreas das ações do Programa Pró-Mananciais.

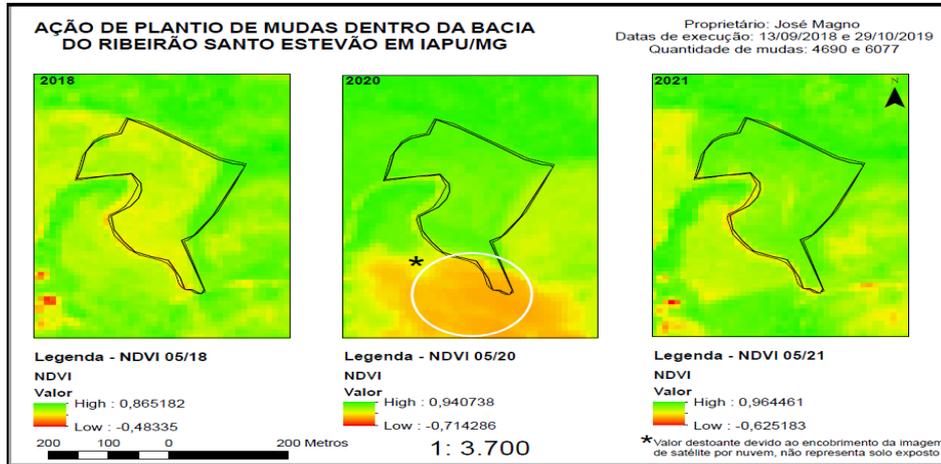


Figura 10: NDVI em ação de plantio no município de IAPU/MG

% de Área de APP – Área de Proteção Permanente

O indicador proposto foi capaz de demonstrar a restauração/conservação nas áreas de mata ciliar ao longo dos cursos d’água que receberam as ações realizadas pelo Pró-Mananciais.

Observamos abaixo exemplo da aplicação do % de APP nas áreas das ações do Programa Pró-Mananciais.

ÁREAS DE PROTEÇÃO PERMANENTE E AÇÕES DO PRÓ-MANANCIAIS EM ARAXÁ/MG

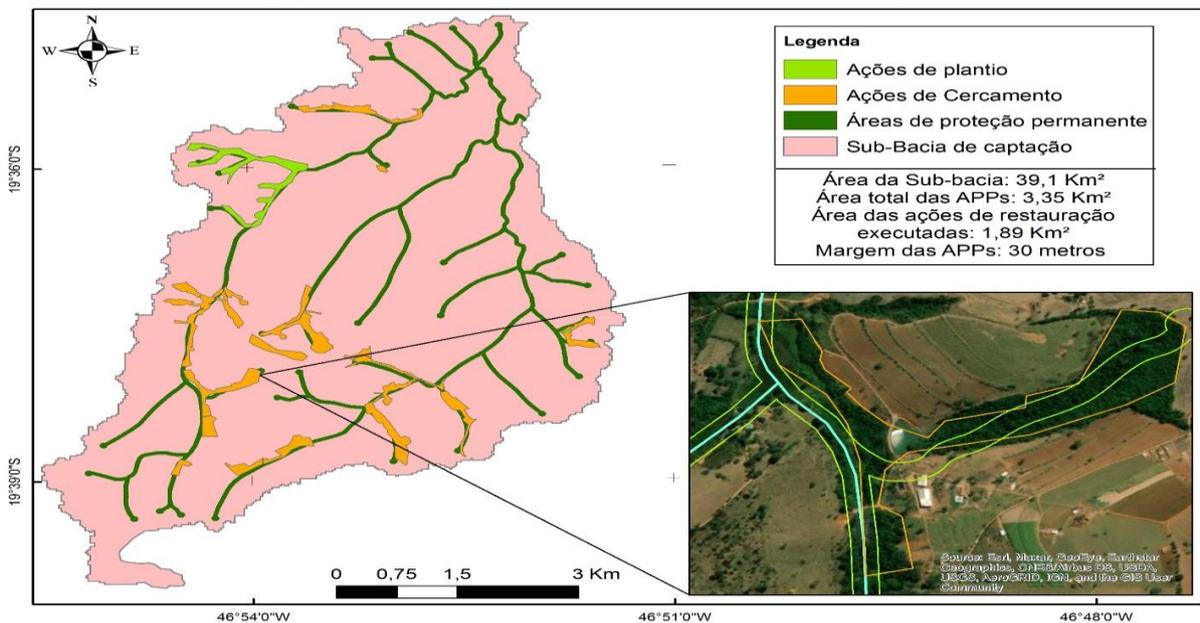


Figura 11: % áreas restauração x APP na bacia de captação de Araxá

Resultados dos índices obtidos nos cinco municípios - piloto

| Municípios | Ano | Indicador da bacia (NDVI) | Incremento no NDVI (%) | % Área APP Restaurada/Conservada |
|----------------------|------|---------------------------|------------------------|----------------------------------|
| Conselheiro Lafaiete | 2018 | 0,58 | 36% | 10% |
| | 2021 | 0,79 | | |
| Espinosa | 2018 | 0,72 | 17% | 5% |
| | 2021 | 0,84 | | |
| Campos Gerais | 2018 | 0,87 | 11% | 25% |
| | 2021 | 0,97 | | |
| Iapu | 2018 | 0,25 | 112% | 8% |
| | 2021 | 0,53 | | |
| Araxá | 2018 | 0,87 | 0 | 56% |
| | 2021 | 0,87 | | |

Figura 12: Resultados dos indicadores aplicados

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Analisando os resultados na tabela acima, conclui-se que onde o indicador NDVI era mais baixo no primeiro ano, 2018, o ganho no indicador, em 2021, foi mais expressivo. No caso do NDVI, o destaque foi no município de Iapu, com 112% de ganho na qualidade da vegetação.

Sobre o indicador % de Área de Preservação Permanente - APP, a média da área restaurada/conservada dos municípios pilotos foi de 12,33 %, sendo relevante o incremento no município de Araxá, de 56%.

Considerando os índices de maneira geral, é possível observar o ganho de vegetação na grande maioria dos municípios piloto, mesmo em um intervalo relativamente curto de três anos entre as análises. Com isso, pode-se afirmar com segurança que os indicadores propostos foram capazes de demonstrar a restauração/conservação nas áreas de mata ciliar e de nascentes que receberam as ações realizadas pelo Pró-Mananciais.

CONCLUSÕES

Considerando o piloto realizado, os indicadores propostos foram capazes de demonstrar a restauração/conservação nas Áreas de Preservação Permanente - APP que receberam as ações realizadas pelo programa Pró-Mananciais. Foi possível observar o nítido ganho de saúde na vegetação nos municípios abrangidos pelo projeto piloto dos índices NDVI e % de Área de APP para o programa, mesmo em um intervalo relativamente curto de três anos.

A meta estipulada para a execução das ações de restauração/conservação servirá de incentivo às equipes de apoio do programa (equipes socioambientais) e seus resultados irão compor evidência importante no que diz respeito à finalidade pretendida pelo programa Pró-Mananciais, que é a recuperação/recomposição das áreas verdes, contribuindo assim para o aumento da quantidade e da qualidade do Recurso Hídrico para o abastecimento público.

Salientamos, por fim, a grande importância de se investir na recuperação das áreas de vegetação protegida nas microbacias de captação bem como nas ferramentas disponíveis de monitoramento ambiental dessas áreas verdes, como no caso dos indicadores ambientais propostos.

BIBLIOGRAFIA

1. CASSIN, J.; LOCATELLI, B. *Guía para la Evaluación de Intervenciones en Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica. Escala de Efectividad, Equidad y Sostenibilidad*. Lima: Forest Trends Association, setembro de 2020. Disponível em: <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2020/12/Guia-EES-1.pdf>. Acesso em setembro de 2021.



2. LEITE, T. M.; GONÇALVES, A. A. F; LEITE, M. F. *Monitoramento de Ações de Restauração Vegetal e Conservação de Nascentes por Técnicas de Sensoriamento Remoto – Os Efeitos do Programa Pró-Mananciais da Copasa no Município de Espinosa*. IV Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Agosto de 2022.