



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Hugo Filipe Barreto Ferreira de Freitas

Título: Análise da revegetação em cicatrizes de deslizamentos a partir de índices espectrais e características morfométricas

Hugo Filipe Barreto Ferreira de Freitas

Título: Análise da revegetação em cicatrizes de deslizamentos a partir de índices espectrais e características morfométricas

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em do programa de Pós-Graduação em Geografia PPGE da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Utilização e Conservação de Recursos Naturais.

Orientador(a): Prof. (a) Roberto Fabris Goerl, Dr.(a)

Florianópolis

2024

Freitas, Hugo Filipe Barreto Ferreira de
Análise da revegetação em cicatrizes de deslizamentos a partir de
índices espectrais e características
morfométricas / Hugo Filipe Barreto Ferreira de Freitas ;
orientadora, Roberto Fabris Goerl, 2024.
116 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina,
Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em
Geografia, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Cicatrizes de Deslizamentos . 3.
Revegetação. 4. Índice de Vegetação . 5. Desastres Naturais.
I. Goerl, Roberto Fabris . II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III.
Título.

Hugo Filipe Barreto Ferreira de Freitas

Título: Análise da revegetação em cicatrizes de deslizamentos a partir de índices espectrais e características morfológicas

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 08 de março de 2024 pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Roberto Fabris Goerl Dr.(a)
Instituição UFSC

Prof.(a) Gean Paulo Michel, Dr.(a)
Instituição UFRGS

Prof.(a) Jairo Valdati Dr.(a)
Instituição UDESC

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof.(a) Roberto Fabris Goerl Dr.(a)
Orientador(a)

Floranópolis, 2024.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que contribuíram para o desenvolvimento e conclusão desta dissertação. Este trabalho não teria sido possível sem o apoio, encorajamento e inspiração de muitas pessoas incríveis.

Em primeiro lugar, quero expressar meu eterno agradecimento aos meus pais, cujo amor incondicional, apoio constante e crença em meu potencial foram os pilares fundamentais ao longo desta jornada acadêmica. Suas palavras de incentivo foram minha motivação.

Agradeço também aos meus amigos mais próximos, cuja presença e amizade trouxeram alegria e equilíbrio à minha vida durante os desafios acadêmicos. Seu apoio moral e momentos compartilhados foram fundamentais para manter o equilíbrio entre o trabalho e a vida pessoal.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Roberto Fabris Groel, pela orientação sábia, paciência e comprometimento ao longo deste processo. Suas contribuições intelectuais e feedback construtivo foram fundamentais para a qualidade desta dissertação. Agradeço por compartilhar seu conhecimento e experiência, guiando-me com dedicação e profissionalismo.

Às demais pessoas que de alguma forma colaboraram com este trabalho, meu sincero agradecimento. Cada conversa, conselho e recurso compartilhado foram valiosos e contribuíram para o enriquecimento deste estudo.

Por fim, expresso minha gratidão à instituição acadêmica pela oportunidade de realizar esta pesquisa e aprimorar meus conhecimentos.

RESUMO

O mês de novembro de 2008 fica marcado na história devido aos eventos catastróficos que afetaram o Vale do Itajaí no Estado de Santa Catarina. Um grande número de deslizamentos e suas cicatrizes fazem parte da paisagem na Bacia Hidrográfica do Vale do Itajaí, causados por um prolongado período de chuvas. Este trabalho tem como objetivo principal analisar o nível de revegetação nessas cicatrizes através de um índice espectral de vegetação, por um determinado período de tempo (10 anos). O processo de revegetação não é algo tão simples de evoluir em cicatrizes de deslizamentos. Portanto, para realizar essa análise primeiramente é realizado um inventário das cicatrizes, estas todas mapeadas e contendo as suas características/parâmetros morfométricos, extraídos através do MDT e da própria geometria. Esses parâmetros são utilizados em equações morfométricas para caracterizar individualmente as cicatrizes. O índice espectral NDVI é utilizado em cada sub-bacia e para cada cicatriz individualmente, assim gerando dados de revegetação. Através da relação de parâmetros morfométricos/NDVI, os resultados das análises demonstraram que tanto as bacias, quando as cicatrizes apresentam um certo tempo de em média 5 anos para revegetar, os valores do NDVI nas cicatrizes demonstraram que, certos pontos (topo ou área de deposição) das cicatrizes tem um tempo variável de revegetação, por conta de diversos fatores.

Palavras-chave: Cicatriz de deslizamento. Índices Espectrais. Revegetação.

ABSTRACT

The month of November 2008 is marked in history due to the catastrophic events that affected the Itajaí Valley in the state of Santa Catarina. A large number of landslides and their scars are part of the landscape in the Itajaí Valley Watershed, caused by a prolonged period of rain. This study aims to analyze the level of revegetation in these scars through a vegetation spectral index over a certain period of time (10 years). The revegetation process is not something that progresses easily in landslide scars. Therefore, to carry out this analysis, an inventory of the scars is first conducted, all of which are mapped and contain their morphometric characteristics/parameters, extracted through the DTM and the geometry itself. These parameters are used in morphometric equations to individually characterize the scars. The NDVI spectral index is used in each sub-basin and for each individual scar, thus generating revegetation data. Through the relationship between morphometric parameters and NDVI, the results of the analyses showed that both the basins and the scars take an average of 5 years to revegetate. The NDVI values in the scars demonstrated that certain points (such as the top or deposition area) of the scars have a variable revegetation time due to various factors.

Keywords: Landslide Scars. Espectral Index's. Revegetation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Deslizamento em área sem cobertura vegetal	11
Figura 2 - Fluxograma Conceitual de Movimento de Massa	12
Figura 3 - Fluxograma Metodológico	29
Figura 4 - Precipitação (1981-2012) Vale do Itajaí.....	32
Figura 5 - Localização da Área de Estudo.....	33
Figura 6 - Mapa Geológico das Bacias.....	34
Figura 7 - Mapa Pedológico das três Sub Bacias	35
Figura 8 - Mapa de Vegetação das três Bacias	37
Figura 9 - Mapa das cicatrizes nas três Bacias	44
Figura 10 - Aspect das cicatrizes nas três Bacias	53
Figura 11 - Bacia Braço do Baú - Landsat/Rapideye NDVI (2008-2019)	57
Figura 12 - Bacia Ribeirão do Arraial – Landsat NDVI (2008 - 2019)	61
Figura 13 - Bacia Ribeirão do Baú– Landsat NDVI (2008 - 2019)	65
Figura 14 - Estatística Zonal (NDVI – Landsat).....	66
Figura 15 - Estatística Zonal (NDVI – Rapideye)	67
Figura 16 - Valor Percentual Cicatrizes NDVI (2009-2010).....	69

Figura 17 - Valor Percentual Cicatrizes NDVI (2010-2011).....	70
Figura 18 - Valor Percentual Cicatrizes NDVI (2012-2013).....	71
Figura 19 - Valor Percentual Cicatrizes NDVI (2014-2015).....	72
Figura 20 - Valor Percentual Cicatrizes NDVI (2016-2017).....	73
Figura 21 - Valor Percentual Cicatrizes NDVI (2017-2018).....	74
Figura 22 - Valor Percentual Cicatrizes NDVI (2018-2019).....	75
Figura 23 - Análise de Pixel – Braço do Baú (Taxa de Revegetação)	78
Figura 24 - Análise de Pixel – Ribeirão do Arraial (Taxa de Revegetação).....	79
Figura 25 - Análise de Pixel – Ribeirão do Baú (Taxa de Revegetação)	80
Figura 26 - Análise de Pixel – Todas as Bacias (Taxa de Revegetação).....	82
Figura 27 - Precipitação/NDVI - Landsat	84
Figura 28 - Precipitação/NDVI - Rapideye	85
Figura 29 - Taxa de Precipitação/Taxa de NDVI.....	86
Figura 30 - Análise de Pixel - NDVI por cicatriz	87

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Cicatrizes por Pedologia (%) – Sub Bacia Ribeirão do Baú.....	45
Gráfico 2 - Cicatrizes por Geologia (%) – Sub Bacia Ribeirão do Baú.....	46
Gráfico 3 - Cicatrizes por Vegetação (%) – Sub Bacia Ribeirão do Baú.....	46
Gráfico 4 – Cicatrizes por Pedologia (%) – Sub Bacia Braço do Baú.....	48
Gráfico 5 – Cicatrizes por Geologia (%) – Sub Bacia Braço do Baú.....	48
Gráfico 6 – Cicatrizes por Vegetação (%) – Sub Bracia Braço do Baú.....	49
Gráfico 7 – Cicatrizes por Pedologia (%) – Sub Bacia Ribeirão do Arraial.....	50
Gráfico 8 – Cicatrizes por Geologia (%) – Sub Bacia Ribeirão do Arraial.....	51
Gráfico 9 – Cicatrizes por Vegetação (%) – Sub Bacia Ribeirão do Arraial.....	51
Gráfico 10 – Cicatrizes por Orientação das Vertentes (%) – Micro Bacia Ribeirão do Arraial.....	52
Gráfico 11 - Valores NDVI na Sub-Bacia Braço do Baú LANDSAT/RAPIDEYE (2008-2019)	54

Gráfico 12 - Box-Plot Valores Ribeirao do Arraial LANDSAT/RAPIDEYE do NDVI na sub bacia (2008-2019).....	59
Gráfico 13 – Valores NDVI Ribeirão do Baú LANDSAT/RAPIDEYE na sub bacia de interesse (2008 - 2019)	60
Gráfico 14: Relação Valor Porcentual NDVI/Perímetro (m ²)	89
Gráfico 15: Relação Valor Porcentual NDVI/Declividade (°)	89
Gráfico 16: Relação Valor Porcentual NDVI/KC (°).....	90
Gráfico 17: Relação Valor Porcentual NDVI/Perímetro (m ²)	91
Gráfico 18: Relação Valor Porcentual NDVI/Declividade (°)	91
Gráfico 19: Relação Valor Porcentual NDVI/KC.	92
Gráfico 20: Relação Valor Porcentual NDVI/Perímetro (m ²)	92
Gráfico 21: Relação Valor Porcentual NDVI/Declividade (°)	93
Gráfico 22: Relação Valor Porcentual NDVI/KC.....	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Metodologia de pesquisadores para a criação do inventário de cicatrizes.....	15
Quadro 2 – Equações dos índices espectrais.....	24
Quadro 3 – Trabalhos Revisados.	27
Quadro 4 – Áreas dos complexos geológicos por sub bacias	34
Quadro 5 – Parâmetros e Equações Morfométricas.	39
Quadro 6: Classes Pixel a Pixel	41
Quadro 7 – Datas das imagens e Satélites Utilizados.....	42
Quadro 8 - Características Morfométricas das Cicatrizes por Sub Bacia.....	44
Quadro 9 - Cicatrizes (%) por orientação - Ribeirão do Baú.....	47
Quadro 10 - Cicatrizes (%) por orientação - Braço do Baú	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. OBJETIVOS	9
2.1 OBJETIVO GERAL.....	9
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
3.1 DESLIZAMENTOS DE VERTENTES	10
3.2 TÉCNICAS DE MAPEAMENTO	12
3.3 ÍNDICES MORFOMÉTRICOS NA CARACTERIZAÇÃO DAS CICATRIZES	18
3.4 DINÂMICA DE REGENERAÇÃO NATURAL	20
3.5 ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO	21
4. DESASTRE DE 2008	25
4.1 HISTÓRICO DE TRABALHOS RELACIONADOS AO DESASTRE DE 2008	25
4.2 ENXURRADAS EM SANTA CATARINA.....	25
5 MATERIAIS E MÉTODOS	29
5.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAJAÍ	30
5.2 ÁREA DE ESTUDO (TRÊS SUB-BACIAS).....	33
5.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA DAS CICATRIZES	38
5.5 ANÁLISE DA REVEGETAÇÃO.....	39
5.6 ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO	42
6 ANÁLISE E RESULTADOS	43
6.1 MAPEAMENTO DAS CICATRIZES POR BACIA	43
6.2 ESPACIALIDADE DAS CICATRIZES	45
6.1.1 SUB BACIA RIBEIRÃO DO BAÚ.....	45
6.1.2 SUB BACIA BRAÇO DO BAÚ	47
6.1.3 SUB BACIA RIBEIRÃO DO ARRAIÁL.....	50
6.1.4 REPRESENTAÇÃO DA ORIENTAÇÃO DAS CICATRIZES	52
6.2 ANÁLISE DOS VALORES DE NDVI NAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS – LANDSAT 7/5 e RAPIDEYE	54

6.2.1 SUB BACIA BRAÇO DO BAÚ	54
6.2.2 SUB BACIA RIBEIRÃO DO ARRAIAL.....	58
6.2.3 SUB BACIA RIBEIRÃO DO BAÚ	62
6.3 ANÁLISE PORCENTUAL DOS VALORES NDVI DAS CICATRIZES	69
6.4 ANÁLISE PIXEL A PIXEL DE REVEGETAÇÃO NAS CICATRIZES.....	77
6.4.1 SUB-BACIA BRAÇO DO BAÚ	77
6.4.2 SUB-BACIA RIBEIRÃO DO ARRAIAL.....	78
6.4.3 SUB-BACIA RIBEIRÃO DO BAÚ.....	79
6.5 REDEFININDO A CRONOLOGIA DA ANÁLISE PIXEL A PIXEL DE 2009 A 2019.....	82
6.5.1 ANÁLISE DAS TRÊS BACIAS.....	82
6.6 PRECIPITAÇÃO E VALORES NDVI.....	83
6.7 ANÁLISE DA TAXA DE NDVI DAS CICATRIZES e TAXA DE PRECIPITAÇÃO.....	86
6.8 RELAÇÃO VARIÂNCIA PORCENTUAL (NDVI) E CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS.....	88
6.8.1 RELAÇÃO SUB-BACIA BRAÇO DO BAÚ	88
6.8.2 RELAÇÃO SUB-BACIA RIBEIRÃO DO ARRAIAL.....	90
6.8.3 RELAÇÃO SUB-BACIA RIBEIRÃO DO BAÚ.....	92
7 DISCUSSÃO	94
8 CONCLUSÃO.....	98
REFERÊNCIAS	99

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Castro (1998), os desastres naturais são consequências de eventos tanto naturais, quanto por motivos antrópicos, em um ecossistema vulnerável, causando danos ambientais e antrópicos, juntamente com prejuízos sociais como econômicos. Portanto, um desastre natural é apenas desastre quando ocorrem em locais habitados pelo homem, juntamente com os danos socioeconômicos.

Um desses desastres são os movimentos de massa nas encostas, estes, deixam suas características na paisagem por conta da perda de material e vegetação. Porém analisar a revegetação de cicatrizes não é um processo simples. As dificuldades de recuperação de cicatrizes de deslizamentos estariam associadas às ações de um escoamento superficial frequentemente observado, responsável por alterar significativamente as relações biota-solo-água, portanto limitando o seu processo de revegetação (ROCHA, 1997; NEGREIROS, 2011). Além da incidência direta de ventos, Montezuma (2005), observa que as áreas que sofrem efeito de borda podem apresentar modificações nas dinâmicas de luminosidade, umidade e temperatura nesse sistema florestal. No seu estudo em áreas montanhosas de Porto Rico, Guariguata (1990), ao verificar que o processo de revegetação ocorreu rapidamente, apontou que as florestas tropicais podem se configurar como ambientes altamente resilientes, desde que apresentem as condições necessárias para tal, como parâmetros de declividade e profundidade do solo e de qual solo está presente na área de interesse. Segundo Moraes, et al., (2008), uma possível revegetação em uma cicatriz pode ocorrer de forma espontânea quando os processos ecológicos não são totalmente interrompidos, apresentando condições de clima e solo favoráveis, ausência de espécies invasoras, porém nem sempre estas condições estão em conciliação.

Para ajudar nas análises morfométricas das cicatrizes, a realização de um inventário de cicatrizes traz muita informação importante tanto para o planejamento urbano, quando para áreas de risco. Os inventários de cicatrizes trazem consigo informações básicas relacionadas com os deslizamentos, informações como área, data da ocorrência, danos, atividade, entre outros, portanto, estes dados podem ser usados como base para alguma pesquisa local mais detalhada (WIECZOREK, 1984).

Em 2008 a bacia do Vale do Itajaí sofreu com grandes quantidades de precipitação, atingindo a região leste do estado de Santa Catarina. De acordo com a Defesa Civil do Estado de Santa Catarina no ano de 2008 dos 293 municípios, 118 foram afetados por desastres naturais, dos 127 desastres ocorridos no ano de 2008, cerca de 86 foram enxurradas. Conforme Santos, et al, (2013) as consequências sociais dessas grandes chuvas (três meses seguidos), em consequência das enxurradas no mês de novembro no Vale do Itajaí afetaram mais de 30.000 pessoas, causando cerca de 135 vítimas fatais, 2 desaparecidos, além de perdas materiais.

Apesar dos desastres terem sido registrados como enxurradas, os movimentos de massa foram os responsáveis pela maioria das fatalidades. Mais de uma década passada do evento, diversos estudos abordaram este evento de diferentes óticas científicas. Contudo, a análise da revegetação e persistência da cicatriz na paisagem ainda não foi realizada

Portanto, para trabalhar neste evento, com determinadas análises para o NDVI nas cicatrizes e nas bacias hidrográficas apresentadas, é possível compreender e visualizar como a revegetação se estrutura e ocorre de forma complexa nesses locais.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar temporalmente a restauração da cobertura vegetal em cicatrizes de movimentos de massa por meio de índices espectrais.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- a).** Mapeamento visual das cicatrizes.
- b).** Caracterizar as cicatrizes em termos de morfometria, pedologia, geologia.
- c).** Testar o índice espectral para analisar a revegetação em cicatrizes de deslizamentos.
- d).** Analisar a revegetação e a sua relação com as características morfométricas e geométricas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DESLIZAMENTOS DE VERTENTES

Eventos como deslizamentos de vertentes são conhecidos por suas características geométricas, formada pela cabeceira (que é o ponto de partida dos deslizamentos), o corpo (remoção e transporte de sedimentos e água), e por fim a base (ocorre a deposição dos sedimentos). (ZARUBA e MENCL, 1982; HANSEN,1984; IPT,1989). Na figura 1 está demonstrando a feição de uma cicatriz de deslizamento.

Fenômenos como deslizamentos de terras se estabelecem como um dos principais elementos de modificação de paisagem, estando inteiramente relacionados a meios de desgaste da superfície do terreno, como o transporte e remoção de grãos minerais, e, como outros processos estes são responsáveis pela contínua modelagem das formas de relevo (SOUZA, *et al.*, 2011).

Conforme Trudgill (1988), a ocorrência de deslizamentos de vertentes advém primeiramente da retirada da cobertura vegetal, embora existam casos que ocorram deslizamentos em áreas de floresta. Existem componentes dos sistemas de solo e vegetação que fazem com que seja complexo a ideia de estabilidade. Os deslizamentos das encostas dependem dos solos locais existentes, da declividade, de como a forma antrópica que está associada podendo acelerar os processos geomorfológicos presentes.

Figura 1 - Deslizamento em área sem cobertura vegetal

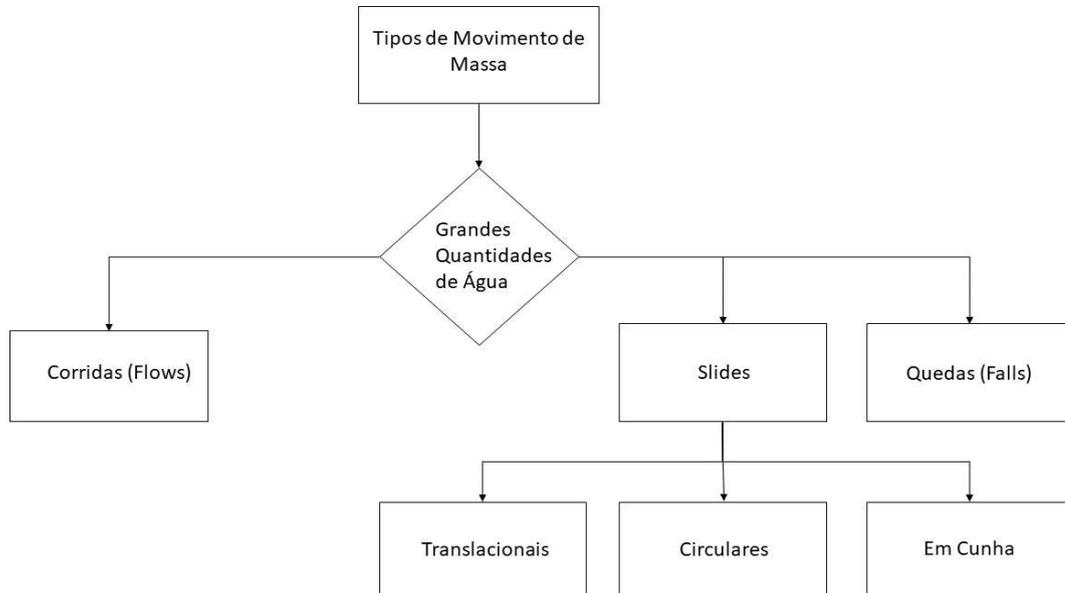


Fonte: Produzido pelo próprio Autor

Na literatura científica já foram relatados vários tipos de deslizamentos de vertentes, e estes podem variar desde deslizamentos de rocha, solo e vegetação ao longo da vertente por conta da gravidade. (TOMINAGA, *et al.*, 2009). Conforme as classificações Augusto Filho (1992), se desenvolvem diversos tipos de movimentos de massa de acordo com o tipo de velocidade, profundidade do solo e fluxo de água.

Augusto Filho (1992) demonstra que os escorregamentos (*slides*) se desencadeiam com velocidades médias e altas com pequenos a grandes volumes de material consolidado, e dentro dos slides encontramos subclasses como os Translacionais, que ocorrem onde os solos são pouco espessos, em seguida, os Circulares que se desenvolvem em solos espessos e rochas muito fraturadas, e por último dentro destas subclasses ocorrem os Em Cunha que se sucedem em solos e rochas com dois planos de fraqueza. Voltando as principais classes de movimentos de massa o autor designa as Quedas (*falls*), que decorrem com queda livre de material rochoso ou em planos inclinados em velocidades muito altas, e por último, o autor demonstra as Corridas/Fluxos (*flows*), são movimentos semelhantes a um líquido viscoso dependendo da quantidade de sedimentos incluída (solo, rocha, detritos) na água, as velocidades são de médias a altas, transportam grandes volumes de material. A Figura 2 apresenta um fluxograma com os tipos de movimentos de massa.

Figura 2 - Fluxograma Conceitual de Movimento de Massa



Fonte: Produzido pelo próprio Autor

3.2 TÉCNICAS DE MAPEAMENTO

Trabalhar com eventos a nível temporal é sempre significativo e relevante para registrar, e criar um banco de dados que é do interesse do estudo. Fernandes, Amaral (1996), citam que inventários de deslizamentos são realizados para garantir o registro dos processos, que já ocorreram no passado no presente, e com isto ter um rumo de como irá ser o futuro.

Os inventários de deslizamentos demonstram através de um mapa as localizações dos deslizamentos. Estes mapas são um conjunto de dados representando um ou mais eventos, produzidos através do SIG e de aerofotos, imagens de satélite, coleta de pontos em campo por meio de GNSS, entre outros métodos, (CRNLHMS, 2004).

Os geomorfólogos ao longo do tempo vêm trazendo novas técnicas para o mapeamento para detectar e atualizar os deslizamentos em áreas de grande escala. Estes novos métodos de acordo com, Guzzetti, *et al.*, (2012), se desenrolam desde a análise da superfície geomorfológica; extração de modelos de elevação (DEM) de alta resolução; interpretação e análise de imagens de satélite, tanto imagens multiespectrais, como imagens (SAR) Synthetic Aperture Radar, e por fim, utilizar

novas ferramentas que facilitam o mapeamento em campo. Para isso Guzzetti, *et al.*, (2012), ressaltam a dificuldade de interpretar as imagens e, como a escolha dos sensores, horário das imagens, ângulo e suas sombras nas imagens afetam posteriormente o mapeamento. Durante o mapeamento, dependendo do método é possível identificar deslizamentos, fluxo de detritos, incluindo o seu deslocamento e as áreas de deposição.

Conforme Ardizzone, *et al.*, (2012), inúmeras técnicas podem ser utilizadas conforme a escala que irá ser trabalhada, tanto em mapas, aerofotos, e a escala da informação que será pesquisada, tendo de ter um alto detalhe e qualidade.

Lv, *et al.*, (2018), enfatizam que os deslizamentos podem ser observados pela mudança, na comparação de imagens de satélite pré e pós a sua ocorrência. Em parte desses estudos, cicatrizes de deslizamentos são mapeados por meio do sensoriamento remoto através de técnicas utilizando um estudo multitemporal.

Zieher, *et al* (2015), apresentam os principais parâmetros (uso do solo a nível temporal; data do deslizamento; área da cicatriz; profundidade da cicatriz; volume da cicatriz; deposição do volume; declividade), para a implementação de um inventário de cicatrizes de deslizamentos. É realizada também a criação de parâmetros das cicatrizes de deslizamentos como, identificar o centro das cicatrizes, o centro da deposição, e identificar toda a trajetória do deslizamento e a criação de polígonos delimitando toda essa área.

Após obter todos esses dados, é iniciada uma correlação dessas características estatísticas desses deslizamentos com outros fatores físicos, como por exemplo, declividade, tipo de rocha local, entre outros.

Malamud, *et al.*, (2004), discutem o quanto complexo pode ser essa metodologia de identificação das cicatrizes de deslizamentos, como por exemplo, os limites dos deslizamentos por vezes são muito difíceis de perceber. Essa consequência é proporcional à idade do deslizamento, por conta disso, é essencial trabalhar estes estudos a nível temporal. E segundo os autores, deve estar incluso no inventário os menores deslizamentos, pois são facilmente erodidos ou sofreram algum tipo de alteração por conta de processos antrópicos. Dessa maneira é aconselhável estarem incluídos em trabalhos que foquem em inventários de apenas eventos recentes.

As técnicas de mapeamento, partem da atualização dos deslizamentos (muito antigos, antigos e recentes) da área de interesse, e parâmetros a serem correlacionados como área com a idade do deslizamento, com a declividade, e com a elevação do terreno. (SANTANGELO, *et al*, 2015).

O Quadro 1 demonstra as técnicas de mapeamento utilizadas por diversos autores, para a identificação das cicatrizes. Autores como o Ghost, *et al.*, (2020), optou por utilizar o Google Earth, como também ortofotos e a utilização do Earth Observation, enquanto Brardinoni, *et al.*, (2003), utiliza aerofotos de um determinado período temporal para a identificação das cicatrizes, assim mapeando-os. Rosi, *et al.*, (2017), para a identificação dos deslizamentos de vertentes, utiliza mapas físicos, imagens de satélite, modelos digitais terreno (MDT's). Assim, as técnicas para a identificação das cicatrizes são bastante variadas.

Os métodos utilizados pelos múltiplos autores se baseiam na produção de um inventário de cicatrizes, e obtenção de parâmetros geométricos das cicatrizes de deslizamentos com a utilização do SIG. O tipo de resolução adotado pelos autores varia conforme o foco da pesquisa. Demers (2014), e Brardinoni, *et al.*, (2003), utilizam apenas aerofotos para o seu trabalho, enquanto autores como Soeters, *et al.*, (1996), utilizam tanto imagens de satélite como aerofotos para a criação do inventário de cicatrizes. Apenas um dos autores descritos no Quadro I utilizaram índices de vegetação para a identificação das cicatrizes.

Quadro 1: Metodologia de pesquisadores para a criação do inventário de cicatrizes

AUTOR	IDENTIFICAÇÃO DE DESLIZAMENTOS	MÉTODOS UTILIZADOS	SENSOR/RESOLUÇÃO	ÍNDICE DE VEG.	LOCALIDADE & LOCAL
Demers, 2014	- Documentação (dados) de deslizamentos prévios - Identificação das cicatrizes - Tipos de deslizamentos	- Características morfométricas das cicatrizes mapeadas. - Distância entre as novas e antigas cicatrizes; direção, alcance, raio) - Estimação do movimento retrógrado das cicatrizes.	Aerofotos (Não foram apresentadas as escalas).	Não utilizou índices de vegetação na pesquisa.	Québec, Canadá
Brardino ni, et al, 2003	- Aerofotos em um determinado período de tempo - Criação de polígonos nas cicatrizes - Tabela nacional de estabilidade do terreno para comparar com as áreas de interesse	- Criação do inventário com características como: (volume de sedimentos para os canais principais; visibilidade das cicatrizes em áreas florestadas e áreas desmatadas, densidade anual dos deslizamentos com a utilização de SIG). - Freq. de distribuição (elevação; declividade).	Aerofotos (1:12.000 e 1:15.000)	Não utilizou índices de vegetação na pesquisa.	Capilano River, Vancouver, Canadá
Ghost, et al, 2020	- Utilização do Earth Observation (EO) data, para o mapeamento das cicatrizes. - Criação de uma tabela de diferentes fontes de dados para a criação do inventário.	- Criação de uma tabela com informações das cicatrizes como: localidade, ano inicial, ano de reativação, tipo de deslizamento, tipo de material, largura, altura, comprimento, área, causa, elemento de risco. - Criação de gráficos com a probabilidade de densidade do deslizamento, e outro gráfico com a susceptibilidade de deslizamento na área.	- Google Earth (2004,2010,2011,2012,2013) - Mapa Base com resoluções espaciais de 15cm e 30cm - Ortofoto multi-espectral Satélite IRS LISS IV MX (5.8m x 5.8m)	Não utilizou índices de vegetação na pesquisa.	Nordeste dos Himalaias, Índia
Zieher, et al, 2016	- Mapeamento de cicatrizes com a combinação de pontos, linhas e polígonos. - Obtenção de dados de deslizamentos anteriores - A identificação parte de alguns métodos: ponto no centro da cicatriz; ponto no centro	- Criação de mapas e gráficos com elementos como: declive, áreas de susceptibilidade de tipos de rocha; Densidade de deslizamentos entre 2 anos. - Frequência de distribuição das áreas das cicatrizes, correlacionando com a declividade.	- Aerofotos (1:10.000 e 1:41.000) - Resolução espacial do MDT de 10m.	Não utilizou índices de vegetação na pesquisa	Latenser e Kleinwalser, Áustria

	do depósito; linha do processo da trajetória do deslizamento desde o ponto central da cicatriz até a base; polígono delimitando toda a área da cicatriz.	<ul style="list-style-type: none"> - Comparação do número de cicatrizes com a precipitação por ano. - Validação do tipo de deslizamento. - Validação estatística de profundidade (máx./min), distância (máx./min). 			
Malamud, et al, 2004	<ul style="list-style-type: none"> - “Idade” dos deslizamentos, escala e qualidade de aerofotos. - Morfologia e Geologia local - Mapa do uso da terra 	<ul style="list-style-type: none"> - Utilização de equações para realizar o inventário. - Frequência de deslizamentos; Probabilidade de Densidade - Média de todas as áreas das cicatrizes durante o evento. - Área total dos deslizamentos. - Gráfico com a média dos volumes dos deslizamentos em relação ao número total de deslizamentos. - Magnitude do deslizamento - Obtenção de dados sobre deslizamentos com detritos. (Criação de gráficos). 	Aerofotos (1:25.000; 1:200.000) e (1:60.000; 1:20.000)	Não foi utilizado índice de vegetação na pesquisa.	Itália, Guatemala, EUA
Wills, et al, 2017	<ul style="list-style-type: none"> - Utilização de mapas antigos que contêm informações de deslizamentos. - Utilização do CaLSI (California Landslide Inventory Database) e o serviço ESRI. 	- Os deslizamentos foram classificados conforme a sua formação, ou seja, toda a área de pesquisa foi dividida conforme os tipos de deslizamentos.	Mapas de deslizamentos com resolução de 1:24.000	Não utilizou índices de vegetação na pesquisa.	Califórnia, EUA
Brito, 2015	<ul style="list-style-type: none"> - Processamento digital das imagens: ENVI 4.7 e ArcMap. - Criação do MDE (Modelo Digital de Elevação). 	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de um inventário de cicatrizes. - Utilização de PCA - Histograma das áreas das cicatrizes dos deslizamentos. 	Landsat 5, sensor TM (Thematic Mapper) QuickBird (resolução se 2,4metros) Worldview – 1 (0,5metros)	NDVI	Bacia do Paraná, Brasil

Soeters, et al, 1996	<ul style="list-style-type: none"> - Interpretação de Aerofotos para mapear e obter informações das cicatrizes como (Tipo, Subtipo, Atividade, Profundidade, Escarpa). - Criação do mapa das cicatrizes - Distribuição dos mapas de deslizamentos de acordo com os dados das cicatrizes. <p>Seleção dos parâmetros e combinação desses fatores para um único mapa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Utilização do SIG para a análise da densidade dos deslizamentos. - Utilização do SIG para a análise estatística bivariada, e multivariada. - Utilização do SIG para análises determinísticas. 	<p>Imagem pancromática com resolução de 10m, e uma imagem multiespectral de 20m de resolução.</p> <p>Aerofotos com resolução 1:15.000</p>	<p>Não utilizou índices de vegetação na pesquisa.</p>	<p>Itália, Colômbia, Espanha</p>
Rosi, et al, 2017	<ul style="list-style-type: none"> - Mapa Topográfico - Modelo Digital de Terreno (MDT) 10m - Imagens RGB (1m) Ano 2012 - Mapa Geológico Local. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aquisição de dados (geológico, MDT, uso do solo) e dados do satélite ENVISAT - Foto interpretação das imagens de satélite - Detecção e caracterização do mapeamento dos deslizamentos. - Atualização dos elementos para a criação do inventário de cicatrizes. - Validação dos resultados. 	<p>Mapa Regional Topográfico, escala 1:10.000</p> <p>Satélite ERS 1-2 (1992-2000) e Envisat (2002-2010)</p>	<p>Não utilizou índices de vegetação na pesquisa.</p>	<p>Toscana, Itália</p>
Santos, et al, 2015	<ul style="list-style-type: none"> - Utilização do software ENVI para gerar 50 pontos de controle. 	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de um Mosaico das cenas Rapideye - Utilização das equações do NDVI E OSAVI 	<p>Satélite Rapideye (06/2011) Resolução espacial de 5m</p> <p>Satélite Sentinel-2 (04/2016) Resolução espacial de 10 e 20m</p>	<p>NDVI e OSAVI</p>	<p>Serra do Mar Paranaense, Brasil</p>

Fonte: Produzido pelo próprio Auto

É possível analisar através do Quadro I acima que a maioria parte dos pesquisadores na realização do inventário de cicatriz não utilizaram algum índice de vegetação. Apenas dois autores utilizaram algum índice de vegetação, enfatizando um diferencial para o presente trabalho. As imagens escolhidas para analisar as cicatrizes são grande parte aerofotos, ou, os pesquisadores intercalam com imagens de satélite, para a comparação de deslizamentos mais antigos com os atuais. Os métodos utilizados pelos autores não são tão distintos, as tabelas, gráficos de densidade de frequência são utilizados nos inventários de cicatrizes, para começar o seu inventario os autores utilizaram também técnicas parecidas para a identificação das cicatrizes, como os mapas topográficos, mapas de uso da terra, aerofotos, imagens RGB, e modelos digitais de elevação para ajudar na identificação das cicatrizes juntamente com a declividade destas.

3.3 ÍNDICES MORFOMÉTRICOS NA CARACTERIZAÇÃO DAS CICATRIZES

Quando ocorre um deslizamento este muda a superfície topográfica deixando uma assinatura significativa (PIKE,1988). Guzzetti (2021), apresenta que a magnitude dessa alteração depende do tipo e tamanho dos deslizamentos, e da extensão do movimento. Portanto, para realizar uma caracterização dessas cicatrizes é necessário trabalhar com correlações morfométricas, que são bastantes usadas em pesquisas que trabalham com inventários de cicatrizes de deslizamentos e/ou em análises de bacias hidrográficas. Estas relações dão mais embasamento aos resultados esperados nos trabalhos que estudam tanto inventários de cicatrizes e /ou em análises de bacias e deslizamentos. Das (2021), realizou correlações morfométricas de várias bacias na península da Índia, relacionando parâmetros como, a área, o perímetro, o Fator LS (que representa a “relação” de perda de solos por unidade de área em uma determinada % declividade), da TRI (reflete a erosão do terreno), e o TWI (representa o estado de saturado do solo úmido dentro de uma determinada bacia hidrográfica, e simula a topografia de um processo hidrológico), conseqüentemente correlacionando estes com o tipo de geologia da bacia. As análises de correlação foram complementadas com análises de agrupamento.

Para a caracterização das cicatrizes, inúmeros autores utilizam diversos índices morfométricos (MALAMUD, *et al.*, 2003, SOETERS, *et al.*, 1996, DEMERS, 2014, BRARDINONI, *et al.*, 2003). Os parâmetros geométricos descritos (área, perímetro, declividade, entre outros) são utilizados para a realização destes índices. Segundo, Antonelli e Thomaz (2007), os parâmetros morfométricos revelam indicadores físicos para um determinado local, assim, qualificando as alterações ambientais. De acordo com Oliveira, *et al.*, (2008), para realizar uma análise morfométrica, tanto de bacias como para cicatrizes de deslizamentos, é necessário o levantamento de índices e valores numéricos de diferentes características do deslizamento, permitindo assim a compreensão dos eventos que estão ocorrendo. Os índices, se forem utilizados isoladamente.

Cabe ressaltar que nenhum desses índices, isoladamente, deve ser entendido como capaz de simplificar a complexa dinâmica da bacia, a qual inclusive tem magnitude temporal (TONELLO, 2006)

Lin, *et al.*, (2005) utiliza alguns índices para angariar dados morfométricos das cicatrizes de deslizamentos, após conseguir parâmetros de interesse, os autores utilizam o índice de colapso (Collapse Ratio), que quanto maior for o seu valor, mais sério será o deslizamento a uma certa declividade ou altura, ou outra classe escolhida pelo pesquisador.

Santos, *et al.*, (2012), utilizaram o Fator de forma (Ff), expresso como sendo a razão entre a área do deslizamento (A) e o comprimento axial deste (L), o (Ff) foi utilizado neste caso para uma bacia hidrográfica, assim sendo, o índice será reutilizado e testado, mas para as cicatrizes de deslizamentos. Portanto, uma cicatriz que com um fator de forma baixo está menos sujeita a ocorrência de um novo deslizamento, portanto a revegetação poderá ser mais rápida nessa cicatriz.

Outro índice utilizado pelo autor é a Densidade de Cicatrizes, relação entre o número de cicatrizes e a área da bacia(Km²), e tem como finalidade comparar a frequência de cicatrizes para uma determinada área. A maioria dos índices morfométricos foram desenvolvidos para as bacias hidrográficas (CHRISTOFOLETTI, 1980). O presente trabalho buscará adptar estes índices para as cicatrizes de deslizamento.

3.4 DINÂMICA DE REGENERAÇÃO NATURAL

A compreensão da evolução da conceituação teórica da sucessão é interessante aos que pretendem se dedicar à fascinante e intrigante atividade de recompor as matas nativas. O conceito de sucessão foi desenvolvido primeiramente pelos botânicos De Candolle, De La Malle, Dureau, Hult e Vaupell.

Em 1893, Warming apresentou uma visão geral do assunto, mas foram Cowles em 1899, e Clements, em 1916, os que fizeram o uso mais extenso do conceito de sucessão, estabelecendo uma variada terminologia para as distintas séries e etapas (MARGALEF, 1974).

A dinâmica da regeneração natural vai depender da extensão e do tipo de perturbação, da proximidade onde se encontram as fontes produtoras de propágulos, da disponibilidade de agentes dispersores, da herbivoria de plântulas, da competição com gramíneas agressoras (TORIOLA et al., 1998), das condições microclimáticas, dos aspectos físicos e químicos do solo e da compactação deste (PARROTA, 1932; HOLL; KAPPELLE, 1993, citados por SORREANO, 2002).

Conforme a pesquisa de Schorn e Galvão, (2006), os estágios iniciais notadamente é abrangido por espécies exigentes em luz e tolerantes à sombra.

Relatando o efeito de uma clareira no microambiente, Popma e Bongers (1991) afirmaram que ele é mais pronunciado na regeneração de espécies tolerantes à sombra de uma floresta. Complementaram afirmando que as diferenças em crescimento entre espécies, como respostas ao estímulo de clareiras, são mais pronunciadas durante os primeiros estágios do ciclo de vida (germinação, estabelecimento de plântulas e crescimento).

A distância de dispersão de sementes a partir da árvore-matriz, particularmente em espécies com dispersão anemófila, decresce de acordo com uma curva exponencial negativa. Isso implica que a chuva de sementes é extremamente agregada em poucos metros ao redor de árvores adultas. Conseqüentemente, a expectativa de mortalidade causada por patógenos, herbívoros e predadores é muito maior nas proximidades de árvores maduras (WILSON, 1937; JANZEN, 1978, citados por GRAU, 2000).

Já em um estágio secundário, indicam que as espécies mais importantes no estrato superior da estrutura atual do estágio intermediário, notadamente pioneiras e clímax exigentes em luz, serão substituídas no futuro pelas espécies que atualmente

apresentam maiores ingressos e maior relação ingressos/mortalidade na regeneração natural.

E no estágio avançado a distribuição da mortalidade nos grupos ecológicos, os resultados mostraram que ela foi expressivamente superior nas espécies climácicas tolerantes à sombra, em relação às pioneiras e climácicas exigentes em luz. Nessa fase, a estrutura da regeneração natural é amplamente dominada pelas espécies climácicas tolerantes à sombra, o que justifica, de certa forma, a ocorrência inexpressiva de ingressos e mortalidade em espécies pioneiras e em climácicas exigentes em luz.

Cada estágio, de desenvolvimento, constitui uma associação distinta e muito peculiar, com dominantes próprias em que após uma aparente pausa, se efetua uma constante substituição gradativa de espécies, cada vez mais exigentes quanto á fertilidade e á umidade do solo e em que, por sua vez, surgirão novos dominantes em cada estágio de desenvolvimento (SCHORN et al., 2006).

3.5 ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO

As mudanças na vegetação são processos recorrentes e os índices espectrais, amplamente utilizados no sensoriamento remoto, são modelos matemáticos que sintetizam e aprimoram a relação dos dados espectrais com os parâmetros da vegetação (PONZONI, 2001). Esses índices oferecem consistência temporal sobre as condições da vegetação, monitorando sua atividade fotossintética e mudanças biofísicas. Através da radiometria espectral dos satélites, é possível identificar a intensidade do objeto através da refletância da radiação eletromagnética em diferentes comprimentos de onda do espectro (BRANDÃO, et al., 2008). Essa refletância diferencial da clorofila nos comprimentos de onda do visível e infravermelho permite o uso de índices de vegetação em diversos estudos, sendo as faixas do vermelho e do infravermelho próximo as mais utilizadas, pois contêm 90% da variação da resposta espectral da vegetação (ROSA, 2013). Esses modelos matemáticos realizam transformações lineares das bandas de satélite nas faixas do vermelho e infravermelho, bem como nas faixas do verde e azul próximo do espectro eletromagnético (EPIPHANIO et al., 1996).

Diversos índices são utilizados para caracterizar a vegetação. O NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) é um dos mais utilizados em monitoramentos e levantamentos de vegetações (ROSENDO e ROSA, 2005). Outro índice, o GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), é uma modificação do NDVI que utiliza a banda do verde em vez da banda do vermelho (GITELSON, et al., 1996).

É importante ressaltar que os índices devem ser comparados para determinar qual é o melhor para cada região e situação de estudo. No Brasil, devido à produção de cana-de-açúcar e à diversidade de biomas, os índices mais utilizados para mapear a variação espacial da biomassa são o GNDVI e o NDVI (MARCUSSE, 2010).

Realizando uma revisão bibliográfica, estudos mais específicos para a análise de cicatrizes de deslizamentos, abordam os índices que foram os mais utilizados nos diversos trabalhos, Lin *et al.*, (2005), utilizou seis imagens SPOT para a identificação das cicatrizes, e conseqüentemente o índice NDVI para analisar a revegetação dessas cicatrizes. Brito (2015), que trabalhou no segmento da borda oriental da Bacia do Paraná, utilizou imagens Landsat5, para a identificação das cicatrizes foram utilizadas as bandas TM4 (infravermelho) e TM3 (visível), o índice escolhido com melhor resultado para essa identificação foi o NDVI, como também a composição RGB 453. A técnica ALC (Ampliação Linear de Contraste), possibilita uma maior variância de dados, e conseqüentemente um melhor contraste, a técnica apresentou bons resultados, através do PCA mostrou-se que as bandas CP exibem de forma evidente as feições erosivas, e a composição colorida CP 453 RGB apresentou visualmente melhores resultados na identificação de solo exposto.

Já o trabalho de Silva, *et al.*, (2019), que focou no município de Rio Casca e seus entornos, utilizou imagens pré e pós deslizamentos uma Sentinel 2B e outra OLI Landsat, os índices de vegetação escolhidos para a melhor identificação das cicatrizes foi não só o NDVI, como também o SAVI. O Sentinel por ser ter uma resolução espacial mais elevada, fez com que a identificação dos objetos fosse menos trabalhosa e com uma amostragem no final mais confiável.

Sestini (2004), trabalhou no litoral do estado de SP, o autor utilizou o satélite Landsat 5, e testou composições com bandas TM 473 RGB e TM 572 RGB, por final foi testado que a composição 473 RGB mostrou-se com o melhor desempenho para a identificação das cicatrizes, o índice NDVI também foi utilizado, porém, como

conclusão na utilização da razão de bandas, a composição 5/7 4/3 4/1 RGB obteve resultados semelhantes ao do índice de vegetação NDVI.

Guzzetti, *et al.*, (2012), cita que muitos exemplos de mapeamento de cicatrizes em áreas tropicais e equatoriais que por conta da sua localização geográfica apresentam uma alta densidade de vegetação. As cicatrizes quando ocorrem, se destacam drasticamente na paisagem, e são analisadas em grande parte e identificadas por conta da diferença nos valores do índice de vegetação NDVI, ou com a composição de outras bandas.

Aksoy e Ercanoglu (2011), a pesquisa destes autores foca na região da Turquia, e trabalham a identificação de cicatrizes com a escolha do satélite Landsat7 ETM juntamente com a escolha das bandas 1,2,3 e a infravermelha (4). O índice de vegetação escolhido foi o NDVI para a realização de um mapa temático da localização das cicatrizes de deslizamentos.

Verdonen, *et al.*, (2020), estudaram a revegetação de cicatrizes de deslizamentos em áreas de tundras na região do Ártico Russo, utilizando imagens de alta resolução do QuickBird-2, o WorldView-2 e 3, como também o Landsat4, o índice utilizado para a identificação de uma possível revegetação foi o NDVI, essas imagens de alta resolução permitiram que o NDVI detectasse “hot-spots” que incluíam a degradação da vegetação, bem como áreas pequenas de degelo que apenas com o Landsat4 falsa cor não seriam detectáveis.

Behling, *et al.*, (2014), nesta pesquisa os autores trabalham com o mapeamento de cicatrizes, a escolha do satélite desta pesquisa foi o RapidEye (5m) de resolução, e o índice de vegetação escolhido foi o NDVI. Através do índice foi possível observar e distinguir áreas nas cicatrizes de não vegetadas (com baixos valores permanentes do NDVI), como também áreas com vegetação temporária (com uma taxa de valores do NDVI menos distintos).

Lin, *et al.*, (2005), trabalharam na região central de Taiwan, e utilizaram para a sua pesquisa seis cenas do satélite SPOT, para analisar a revegetação de cicatrizes. Os autores utilizaram o índice de vegetação NDVI com imagens pré e pós deslizamentos. Além de utilizar o NDVI a nível temporal, o índice VRR (Vegetation Recovery Rate) é proposto para auxiliar na tomada de decisões em resposta à recuperação da vegetação de deslizamentos de terra. Na sua fórmula o NDVI (0) é o

NDVI de uma imagem pré-deslizamento, o NDVI (1) é o valor do índice logo após o deslizamento, e o NDVI (2) representa um valor posterior à ocorrência do deslizamento. Por fim, se o valor do VRR é menor que 0 a revegetação na cicatriz é baixa, se o valor do índice for de 0 a 100, significa que a revegetação naquela cicatriz é positivamente gradual, e por fim, se o valor do VRR for acima de 100 a revegetação naquela cicatriz é mais superior do que anteriormente a ocorrência do deslizamento.

No trabalho de Da Silva Junior, *et al.*, (2020) utilizou índices de vegetação para analisar as alterações da mata ciliar da Caatinga, após os testes, o autor concluiu que o GNDVI e NDVI são índices com maior sensibilidade para classificar a mata ciliar, enquanto que os índices EVI e SAVI apresentaram maior acurácia de mapeamento de ambientes semiáridos.

Por fim as conclusões do trabalho de Lin, *et al.*, (2005), indicam que, as utilizações do VRR dos cálculos obtidos do NDVI revelaram que que tendência de crescimento da vegetação em áreas desnudas (cicatrices de deslizamentos) ocorreram após dois anos sem qualquer intervenção humana, o valor máximo do VRR foi de 58,93%, portanto, demonstrando que a natureza tem uma habilidade robusta de revegetação nas cicatrizes de deslizamentos, e a umidade no solo é um fator importantíssimo para essa revegetação. No Quadro 2 é demonstrado a metodologia (equações) que cada pesquisador utilizou.

Quadro 2 – Equações dos índices espectrais

Índices de Vegetação	Equações	Autores
NDVI	$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$	Lin, <i>et al.</i> , (2005) Behling, <i>et al.</i> , (2014) Verdonen, <i>et al.</i> , (2020) Aksoy e Ercanoglu (2011) Sestini (2004) Silva, <i>et al.</i> , (2019) De Mello, <i>et al.</i> , (2019)
VRR	$VRR (\%) = \frac{NDVI2 - NDVI1}{NDVI0 - NDVI1} \times 100\%$	Lin, <i>et al.</i> , (2005)

4. DESASTRE DE 2008

4.1 HISTÓRICO DE TRABALHOS RELACIONADOS AO DESASTRE DE 2008

No ano de 2008, a região leste do estado de Santa Catarina foi atingida por uma elevada quantidade de precipitação, conforme indicam os dados presentes neste trabalho. De acordo com a Defesa Civil do Estado de Santa Catarina, dos 293 municípios da região, 118 foram afetados por desastres naturais. Entre os 127 desastres ocorridos no mesmo ano, aproximadamente 86 foram enxurradas, como apontado por Santos et al. (2013). As consequências sociais dessas fortes chuvas, que duraram três meses consecutivos, foram especialmente impactantes no mês de novembro, no Vale do Itajaí. Mais de 30.000 pessoas foram afetadas, resultando em cerca de 135 vítimas fatais, 2 desaparecidos e significativas perdas materiais.

4.2 ENXURRADAS EM SANTA CATARINA

Em 2008 no Vale do Itajaí, que é o foco de ano e região deste trabalho, foi alvo de enxurradas no mês de novembro, afetando segundo Brasil, (2008) em torno de 30.000 pessoas, acarretando 135 vitimais mortais.

Em 2008 grandes enxurradas causaram imensos danos humanos por conta dos deslizamentos de terra. A seriedade do evento de 2008 foi tão grande que compreendeu 80.3% de todas as mortes por enxurradas no Estado de Santa Catarina durante o período de 1992- 2012 (ATLAS BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2012).

Além do impacto social, houve também perdas econômicas tanto para indústrias quanto para o comércio. Segundo o Banco Mundial (2016), os prejuízos alcançaram cerca de 4,75 bilhões de reais em danos públicos e privados. As enxurradas também afetaram acordos internacionais, como no caso dos tubos de gás

que ligam Brasil - Bolívia (Gasbol), que foram danificados devido aos movimentos de massa na região.

Em novembro de 2008, dois eventos meteorológicos simultâneos afetaram o estado de Santa Catarina, especialmente o Vale do Itajaí. Um anticiclone de alta pressão no sul do Oceano Atlântico e um ciclone de baixa pressão resultaram na formação de nuvens carregadas de água, conforme Severo et al. (2008). A precipitação aumentou quando os ventos oscilaram entre a direção sul e oeste, e os níveis pluviométricos foram mais altos quando os ventos mudaram de sul para nordeste.

Durante esses períodos de chuvas intensas na região do Vale do Itajaí, principalmente em novembro de 2008, ocorreram inúmeros deslizamentos de vertentes. Segundo Garcia et al. (2011), as quantidades de precipitação registradas quebraram recordes, com cerca de 1000mm em Blumenau e Joinville. Esses eventos resultaram em aproximadamente 135 mortes, 2 desaparecidos e milhares de desabrigados, além de grandes perdas materiais, como apontado por Tomazzoli (2012).

Uma revisão bibliográfica realizada no Google Acadêmico para a mesma área e período de interesse deste estudo identificou 19 trabalhos relevantes, incluindo artigos e teses. Dentre eles, destacam-se os trabalhos climatológicos de Xavier et al. (2014) e os estudos socioambientais que abordam tanto questões naturais quanto gestão territorial. Também foram encontrados trabalhos geológicos e geomorfológicos que investigam os processos físicos, como os tipos de deslizamentos de terra na região. Além disso, foram encontrados trabalhos sobre eventos físicos, como as enxurradas, e suas causas potenciais, como o estudo de Tachini et al. (2008).

Os estudos na área de gestão territorial analisam o processo de ocupação nas áreas afetadas por enchentes e deslizamentos de terra, abordando políticas públicas e a ocorrência de desastres, como apresentado por Marimon et al. (2014). Outro trabalho de Jacobi et al. (2013) discute a readaptação do planejamento territorial após desastres e o papel das instituições na gestão dos recursos naturais e urbanísticos.

Essa ampla variedade de áreas científicas estudando esses eventos demonstra a importância e a complexidade das questões envolvidas, como é possível observar no Quadro 3.

Quadro 3 - Trabalhos Revisados

ÁREA CIENTÍFICA	NÚMERO DE TRABALHOS	AUTORES
Economia	1	RIBEIRO, Felipe Garcia <i>et al.</i> 2014
Arquitetura	1	LOHMANN, Alberto, 2015
Engenharia de Produção	1	NOGUEIRA, Christiane Wenck; GONÇALVES, Mirian Buss; OLIVEIRA, Daniel de, 2009
Socioambiental	3	FRAGA, Nilson Cesar. 2015 SANTOS, Milton. 2011 AVILA, Maria Roseli Rossi; MATTEDI, Marcos Antonio, 2015
Climatologia	1	SEVERO, Dirceu Luis <i>et al.</i> 2008
Geológico/Geomorfológico	2	FLORES, Juan Antonio Altamirano; PELLERIN, J. R. G. M.; ÉGAS, 2009 TOMAZZOLI, Edison Ramos; FLORES, Juan Antonio Altamirano; BAUZYS, Fernanda. 2009
Saúde pública	3	SANTOS, Leonardo BL <i>et al.</i> , 2012 LONDE, Luciana de Resende <i>et al.</i> , 2015 XAVIER, Diego Ricardo; BARCELLOS, Christovam; FREITAS, Carlos Machado de, 2014
Eventos (Físicos)	1	ACHINI, Mario; KOBAYAMA, Masatto; FRANK, Beate, 2008
Psicologia	1	SPOLAOR, Jussara <i>et al.</i> , 2012
Direito	1	SOUZA, Viviane Isabel Daniel Speck de <i>et al.</i> , 2021
Gestão territorial	3	AVILA, M.R.R.; MATTEDI, M.A. 2017 DOS SANTOS, Caio Floriano; TORNQUIST, C.S; MARIMON, Maria Paula Casagrande, 2014 JACOBI, Pedro R.; MOMM- SCHULT, S. I.; BOHN, N. 2013
História	1	REIS, NÍCOLLAS VOSS; GARROTE, MARTIN STABEL, 2008

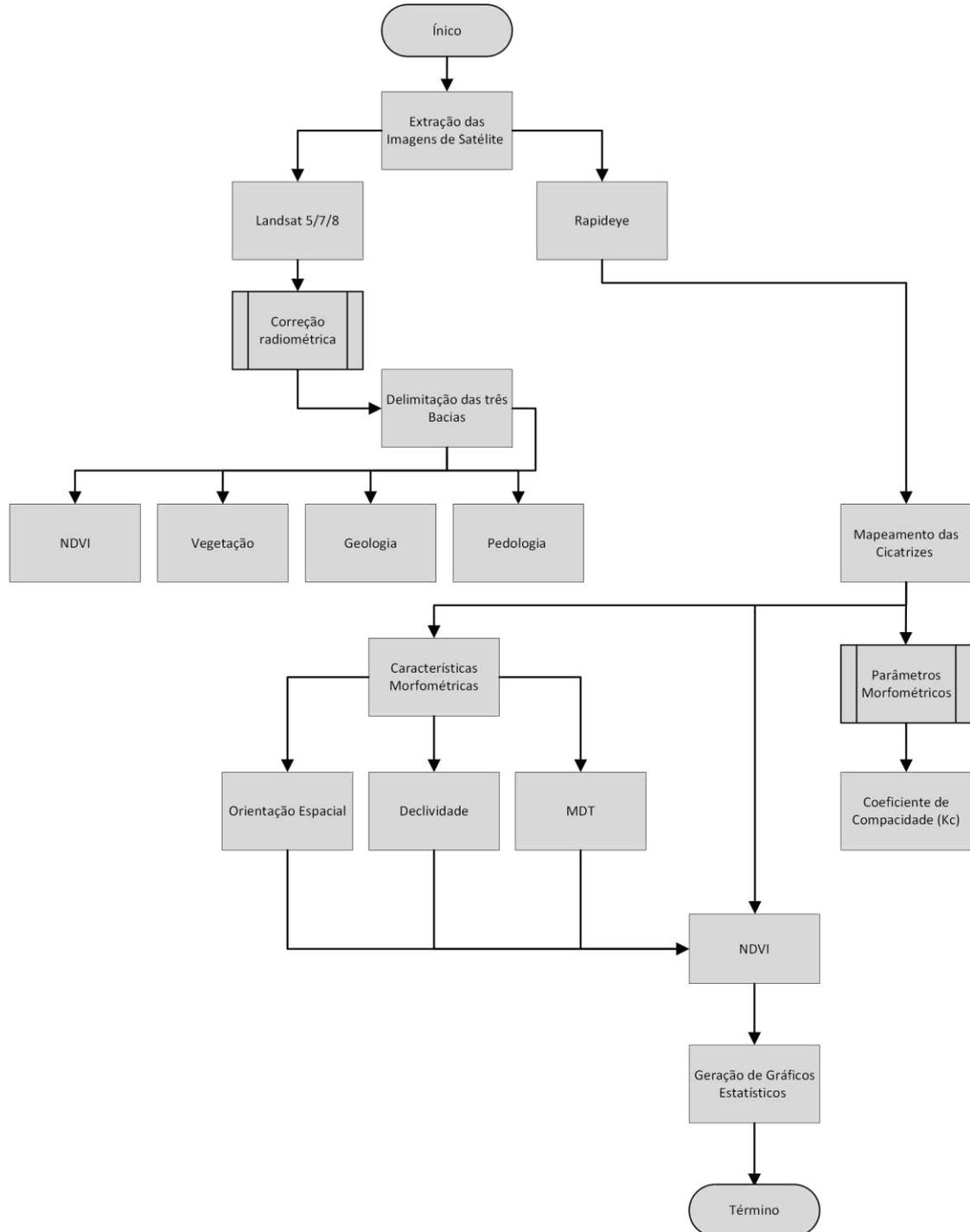
Fonte: Produzido pelo próprio Autor

Portanto, a importância deste trabalho parte de não foi encontrado (através da revisão bibliográfica) no Brasil poucos trabalhos têm como objetivo a criação de um inventário de cicatrizes a partir das suas morfometrias. O objetivo desta tese irá trazer uma grande base estatística importante para os deslizamentos no Sul do Brasil, enriquecendo o conhecimento científico em relação vegetação/cicatrizes.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para compreender os passos utilizando os dados neste trabalho o fluxograma abaixo demonstra tais passos.

Figura 3 - Fluxograma Metodológico



Fonte: Produzido pelo próprio Autor

5.1 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAJAÍ

Neste item, será apresentado um panorama geral da bacia hidrográfica do Vale do Itajaí, com o objetivo de contextualizar as três Sub bacias que serão analisadas neste estudo.

A bacia do rio Itajaí abrange uma área de 14.944,6 km², com um perímetro de 696,9 km, englobando total ou parcialmente 72 municípios dentro da bacia. As características do relevo da bacia tornam-na propensa a enchentes e deslizamentos de encostas, devido aos vales de perfil côncavo. Conforme Marcuzzo et al. (2011), a região nordeste da bacia apresenta uma depressão, fator geomorfológico que contribui para as inundações na região, não apenas devido ao relevo, mas também devido às atividades humanas.

A região do Vale do Itajaí sofreu com processos erosivos e degradação ambiental devido às atividades agropecuárias. Ao longo dos anos, as áreas destinadas à agropecuária na bacia diminuíram consideravelmente, cerca de 35%, porém, a produtividade agrícola aumentou. Novas tecnologias contribuíram para a intensificação na região, deixando de lado áreas de menor produtividade, que se regeneraram com a Floresta Ombrófila Densa e Mista (Sousa et al., 2005). A bacia é considerada uma das mais importantes do estado, tanto em termos hidrográficos quanto socioeconômicos, sendo uma área de extrema importância para Santa Catarina (SEPLAN, 1991).

De acordo com Garcia (2011), o maior desafio de planejamento enfrentado pela Bacia do Vale do Itajaí está relacionado às enchentes. Esse problema decorre tanto de fatores humanos quanto naturais. A questão natural está relacionada à geomorfologia da região costeira favorecendo o risco de inundações.

Na região do Vale do Itajaí, a temperatura média anual gira em torno de 20,1°C, enquanto a temperatura mínima é de aproximadamente 15,8°C. Quanto à precipitação, a média anual é de cerca de 1596,2 mm (dados locais).

“Precipitações concentradas no inverno, como as ocorridas em 1983-1984 no Estado de Santa Catarina, têm sido associadas ao episódio quente do Fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS). O aquecimento anômalo da temperatura da superfície do Pacífico na costa do Peru, cria por subsidência do ar, uma zona de alta pressão sobre toda a Amazônia e o Nordeste brasileiro, bloqueando o deslocamento da frente fria que permanece

estacionária sobre o Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Esta, além de estacionária será alimentada, durante duas ou três semanas, pelo ar quente vindo da Amazônia, que fornece o vapor d'água que vai sendo transformado em chuva pelo mecanismo dinâmico do sistema atmosférico." (MOLLION, 1990)

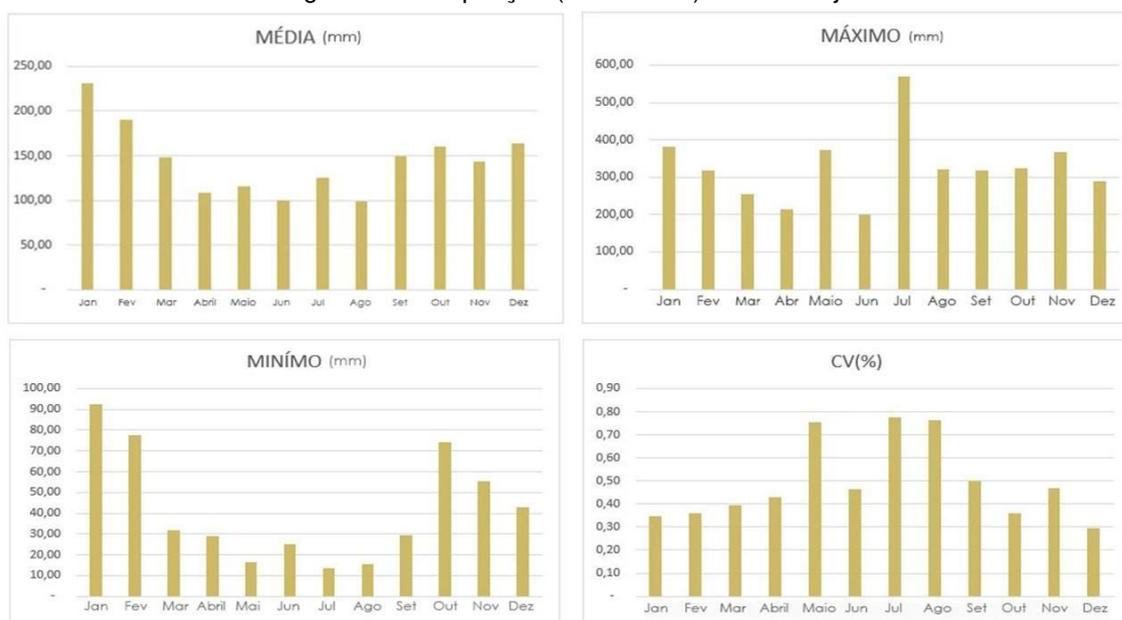
Segundo a classificação de Koppen, Peel, *et al.*, (2007) a região se encontra em duas regiões de climas distintos. O clima Cfb (Temperado Úmido com Verão Temperado), este ocupa a área norte-nordeste da bacia hidrográfica, local que é mais impactada pela Massa Tropical Atlântica e Massa Polar Atlântica, sendo esta a principal responsável pelo clima temperado da região, e o outro clima é o Cfa (Temperado Úmido com Verão Quente), este ocupa todo o resto da área da bacia hidrográfica do Vale do Itajaí.

Como mencionado acima o clima que predomina é o clima temperado. No verão a região que é atingida pela Massa Tropical Atlântica (Ta), e com algumas ações da Polar Atlântica. Conforme Fraga, (2003), evolui para uma instabilidade continental, associando-se efeitos orográficos, como intensas precipitações com grande volume de água em um curto período de tempo.

Os documentos históricos exibem que a presença das enchentes não são fatos novos e nem regular, mas, sim, fenômenos bastantes comuns na região do Vale do Itajaí. Segundo Santos (2014), foram notificados, desde 1852, casos de desastres (inundações) na região de Blumenau. O período mais grave com uma grande quantidade de chuva foi em 1880 que a cota de cheia chegou a 17.10m.

Para embasar os dados de precipitação (Figura 4) ao longo dos anos (1981-2012) foram analisados temporalmente os valores para a Variabilidade (%), Máximo, Média e Mínima no Vale do Itajaí.

Figura 4 - Precipitação (1981-2012) Vale do Itajaí



Fonte: Produzido pelo próprio Autor

De acordo com o gráfico apresentado, o mês de janeiro possui a maior média de chuva ao longo do período de 1981-2012, com um valor de 231,27. A maior precipitação registrada ocorreu em julho, precisamente no ano de 1983, com um valor de 568,40. O segundo maior valor máximo de precipitação foi em janeiro de 1995, com 382,88, seguido por novembro de 2008, com 366,29. Por outro lado, o mês de julho apresentou a menor quantidade de chuva, com um valor em torno de 13,57 no ano de 1988.

Ao analisar a variabilidade da precipitação em relação à probabilidade de eventos extremos, observa-se que em Julho há uma probabilidade de aproximadamente 78% de ocorrer novamente um evento acima ou abaixo da máxima registrada. Portanto, pode-se concluir que julho é um mês com alta instabilidade climática no Vale do Itajaí.

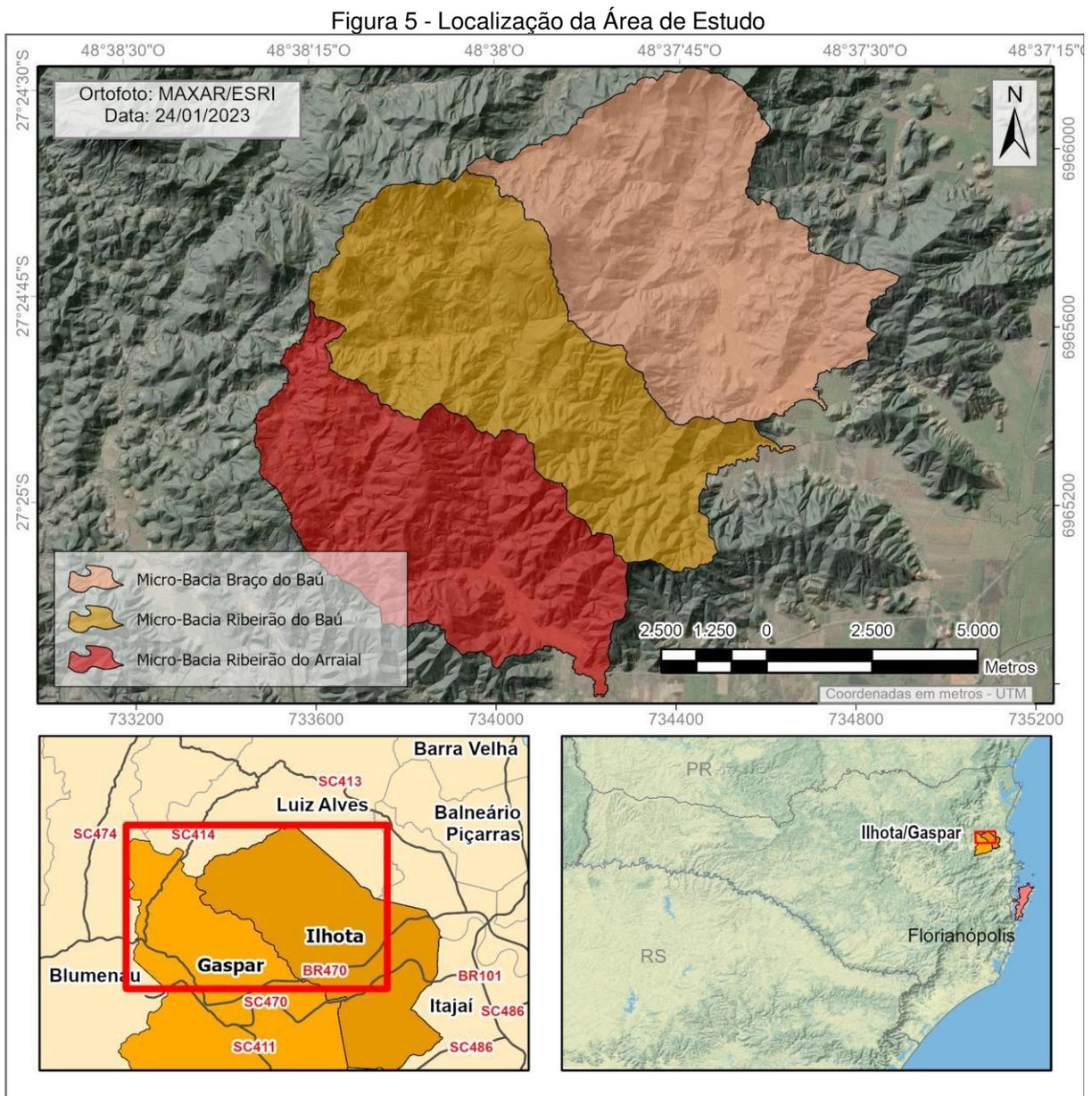
No que diz respeito aos solos da região, é possível identificar a presença de solos Podzólicos, Cambiossolos e Nitossolos Háplicos na bacia. Além disso, outros solos encontrados na região do Vale do Itajaí são os Argissolos, os Cambiossolos e os Gleissolos.

No alto vale do Itajaí, encontra-se uma vegetação conhecida como Floresta Transicional Tropical/Subtropical, que ocupa uma faixa transicional de clima. Essa vegetação apresenta uma maior homogeneidade das espécies dominantes,

principalmente da canela-preta (**Ocotea Catharinensis**), de acordo com a Embrapa (2004). Ela possui características tanto de floresta tropical quanto de floresta subtropical, com ausência de algumas espécies tropicais.

5.2 ÁREA DE ESTUDO (TRÊS SUB-BACIAS)

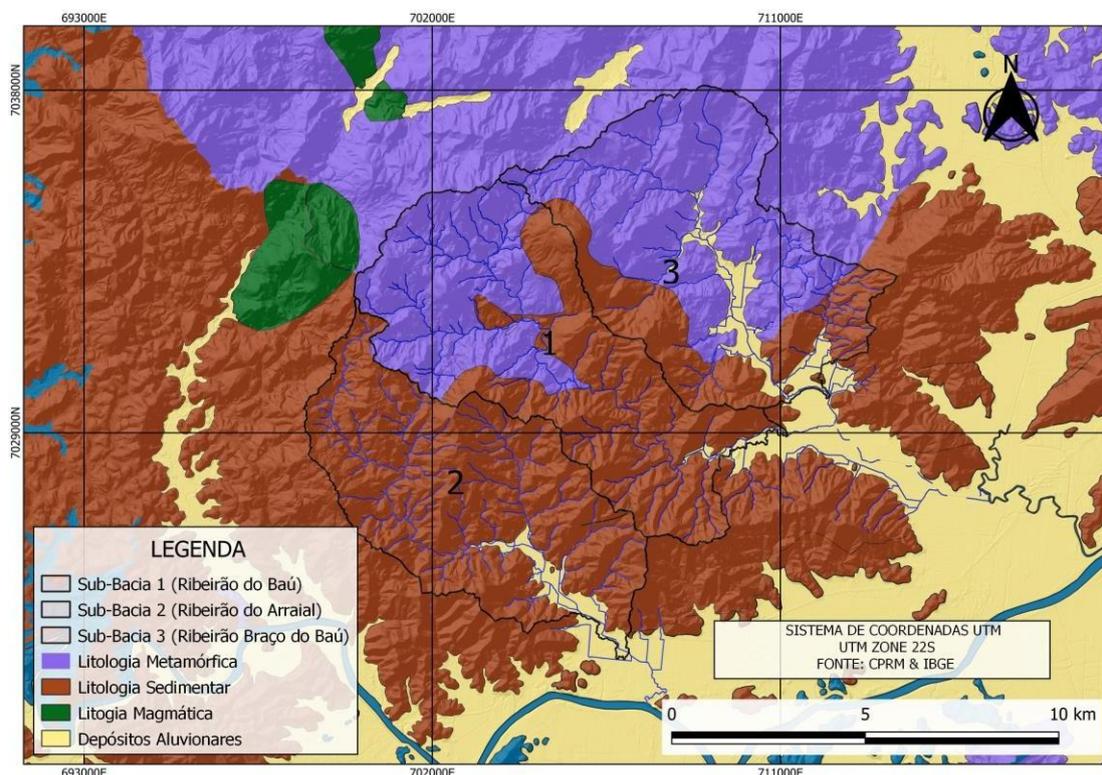
Na Figura 5 a seguir está representado as três sub-bacias hidrográficas (área de estudo) da Bacia Hidrográfica do Vale do Itajaí, as três sub-bacias destacadas no mapa abaixo consistem numa área de 152,43 km.



Fonte: Produzido pelo próprio Autor

As três sub bacias se situam em uma região onde na maioria da área total destas, (cerca de 65%) se destacam as rochas sedimentares. No quadro abaixo (Quadro 4) estão demonstradas as áreas dos complexos geológicos por sub-bacia. E na Figura 6 abaixo está representando o complexo geológico local.

Figura 6 - Mapa Geológico das Bacias



Fonte: Produzido pelo próprio Autor

Quadro 4 – Áreas dos complexos geológicos por sub bacias

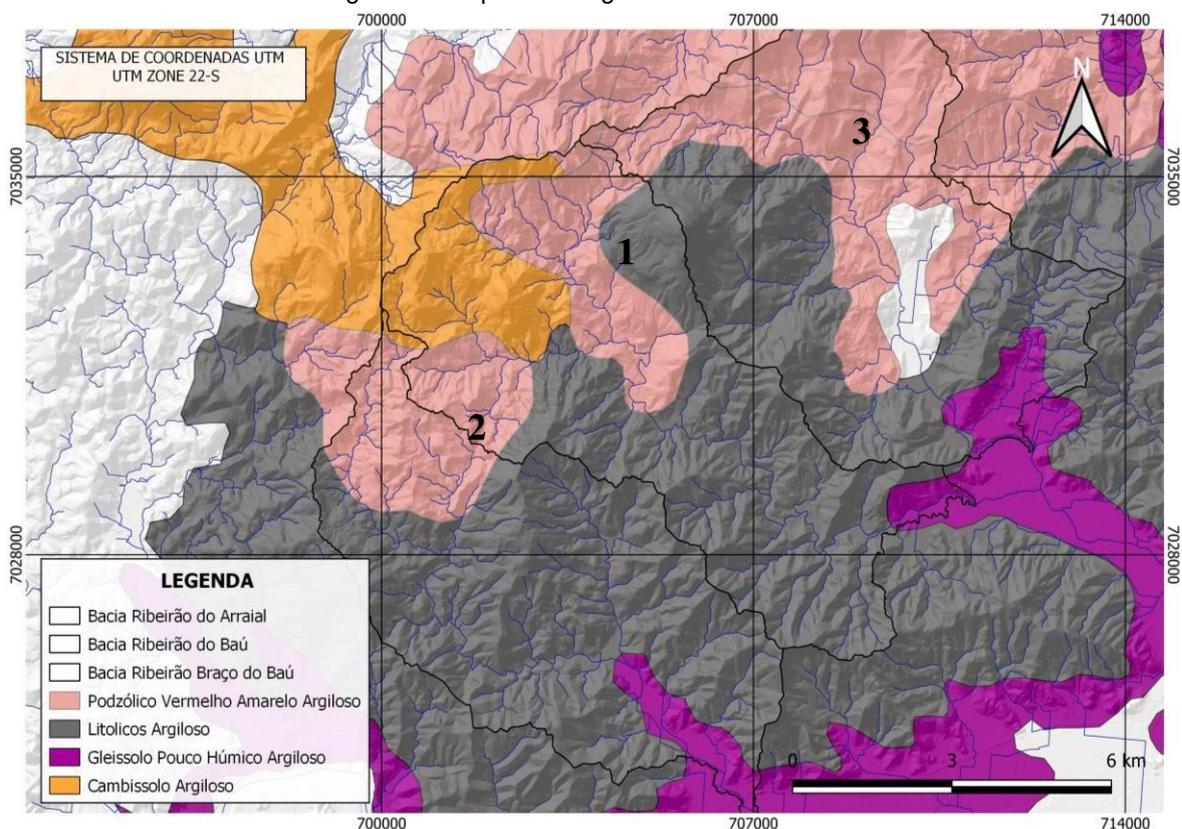
	Rocha Sedimentar	Rocha Metamórfica	Depósitos Aluvionares
Ribeirão do Baú	30,51 km ²	20,23 km ²	5,00 km ²
Ribeirão do Arraial	39,59 km ²	0	6,68 km ²

Ribeirão Braço do Baú	14,39 km ²	29,14 km ²	5,61 km ²
------------------------------	-----------------------	-----------------------	----------------------

Fonte: Produzido pelo próprio Autor

Os solos encontrados, são os Cambissolos, e Solos Litólicos, embora, também no Vale do Itajaí também é encontrado o Gleissolos. Os Cambissolos, segundo Andrade, *et al.*, (2010) a sua formação parte de diversos materiais, tanto pelo depósito de outros materiais sedimentares, como também por rochas cristalinas, uma das suas características é ser um solo pouco profundo, pois estes são solos recentes, isso faz com que ocorra uma erosão desse solo mais facilmente, a sua permeabilidade é baixa ocorrendo assim mais facilmente um escoamento subsuperficial.

Figura 7 - Mapa Pedológico das três Sub Bacias



Fonte: Produzido pelo próprio Autor

Segundo a Embrapa (2006), os solos Gleissolos são resultados de modificações sofridas pelos óxidos de ferro existentes nesses solos, estes solos são

recorrentes a sofrer um encharcamento do solo, ou seja, este solo é sujeito a inundações, por esse motivo que não são os solos ideais para o uso da agricultura visto que o lençol freático é próximo à superfície.

Os Neossolos são pouco evoluídos, com uma espessura menor que 20cm, e não apresenta qualquer tipo de horizonte B. Os Argissolos que compõe mais de 25% dos solos brasileiros, é o segundo maior tipo de solo atrás dos Latossolos, são solos susceptíveis a erosão conforme o nível de textura arenosa, a sua textura é uma característica principal (EMBRAPA, 2006).

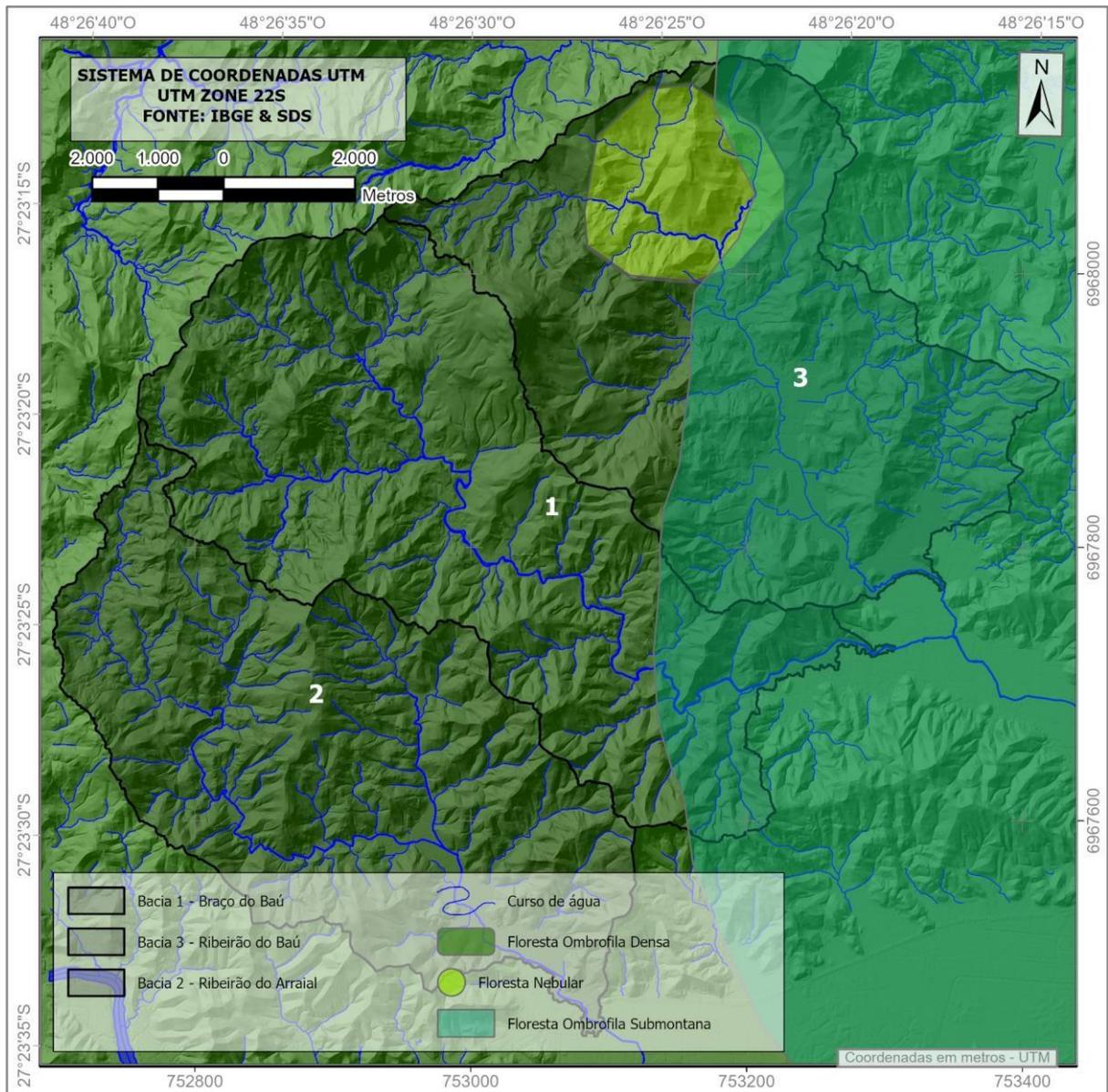
Os solos Podzolicos Vermelho-Amarelo normalmente com textura argilosa média, estes tipos de solos situam-se em áreas de vales em “V” e nas encostas mais íngremes dos vales de fundo chato dos principais rios da região. Ocupam também, as encostas de morros e colinas de relevos ondulados e montanhosos. Finalizando, estes são solos susceptíveis à erosão, originam-se sulcos por conta da retirada vegetal e o pisoteio dos animais (CAVEDON, *et al.*, 2000).

Como o mapa (Figura 7) apresenta, as três sub bacias estão inseridas em vários complexos pedológicos, os Cambissolos, Gleissolos Argissolos, Litolicos e solos Podzolicos.

Partindo para a vegetação do local da área de análise, uma encosta revela uma organização interativa de espécies florestais juntamente com a geologia, pedologia, e hidrologia, acometendo variações florísticas e estruturais. Em relevos menos inclinados predominam solos mais profundos e bem drenados, conseqüentemente proporcionam condições favoráveis para o desenvolvimento de uma vegetação com maior riqueza, maior porte e menor densidade de indivíduos arbóreos (KLEIN, 1979; RODRIGUES, *et al.*, 2007). De acordo com Klein, (1979,1980), o que sucede nas maiores declividades, os solos tendem a ser menos profundos, influenciando no desenvolvimento de uma vegetação de menor porte, e o aumento da densidade, porém com menor riqueza

Segundo Reitz, (1950) a região do complexo do Morro do Baú onde as bacias de análise estão inseridas, é composta por uma vegetação Higrófolia Megatérmica (mata pluvial), com árvores de 6 a 30m de altura (***Machaerium Villosum***) uma vegetação Higrófila Mesotérmica (alto da montanha), com árvores (***Podocarpus Sellowii***) de 6m de altura. Na figura 8 abaixo está demonstrado a vegetação local da área de estudo.

Figura 8 - Mapa de Vegetação das três Bacias



Fonte: Produzido pelo próprio Autor

5.3. MAPEAMENTO DAS CICATRIZES POR BACIA

As cicatrizes foram mapeadas visualmente com o sistema de serviço WMS do estado de Santa Catarina (SIGSC) com resolução de 39 cm, em conjunto com o satélite Rapideye com resolução de 5m.

5.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA DAS CICATRIZES

Após mapeadas as cicatrizes de deslizamento no seu formato vetorial (polígonos) foram extraídos parâmetros para análise espacial e morfométrica. Primeiramente, as cicatrizes foram identificadas separadamente, atribuindo um ID para cada uma delas. Parâmetros foram calculados automaticamente pelo software Qgis, características como perímetro e área serão os utilizados nas equações morfométricas. Para as análises espaciais foi utilizado o MDT com resolução de 1m (SIGSC) que com os seus valores máx e min foram utilizados em outras equações morfométricas.

Estes parâmetros foram escolhidos conforme a sua importância para a realização do inventário, a combinação das inúmeras variáveis obtidas ao longo do trabalho, criam no final mapas e toda uma análise física da correlação da revegetação com o tipo de morfometria das cicatrizes.

Neste trabalho a correlação de dados vem do interesse de conseguir relacionar os parâmetros através de gráficos estatísticos. Parâmetros adquiridos através do MDT, como a Declividade (máx, med, min, desv), e parâmetros geométricos já anteriormente descritos como a, Geologia, Pedologia, tipo de vegetação, área, perímetro, e a direção espacial em que as cicatrizes estão voltadas (N, S, NE, SE) através da ferramenta Aspect.

A ferramenta Aspect, tem como finalidade gerar a direção das vertentes e do escoamento superficial, através de cálculos azimutais, os seus resultados são expressos em graus. Portanto foi utilizada uma reclassificação (valores: mín, máx) com base nesses graus, assim dividindo o compasso do Aspect em 8 (oito). Os valores 0 até 22.5 determinam o Norte (valor 1), e de 22.5 até 67.5 determinam o NE (valor 2), assim sucessivamente até 360° (valor 1), de 45° em 45°.

Outros dados físicos como o Tipo de Geologia, Tipo de Pedologia também foram correlacionados. Após obter esses parâmetros e utiliza-los nas equações morfométricas descritas abaixo, foi analisada a revegetação, através dos valores dos pixels nessas cicatrizes (valores atribuídos em função dos índices de vegetação).

Em seguida é apresentado no Quadro 5 a seguir os parâmetros e a equação morfométrica utilizada no inventário anteriormente escolhidos:

Quadro 5 – Parâmetros e Equações Morfométricas

Características Morfométricas	Informações e Fonte de Dados
Orientação Espacial (Aspect)	Plugin Qgis
Geologia	CPRM
Pedologia	1:25000 (EMPRABA)
Vegetação	IBGE
Declividade (Max,Min,Med,Desv)	Gerada em graus (°) (QGIS)
Modelo Digital de Elevação (MDT)	Resolução 1m - SIGSC
Parâmetros Morfométricos	Fórmula
Coefficiente de compacidade (Kc)	$Kc = 0.28 P / (\sqrt{A})$

Fonte: Produzido pelo próprio Autor

5.5 ANÁLISE DA REVEGETAÇÃO.

Para realizar a análise da revegetação nas cicatrizes, a área de estudo escolhida (Morro do Baú) foi dividida em 3 sub bacias hidrográficas, para a utilização do índice NDVI (Figura 9).

A delimitação das sub bacias foi realizada pelo programa QGIS seguindo a sequência de processos para a sua extração: (1- preencher, 2- direção do fluxo,3 – bacia).

Assim, através do índice de vegetação NDVI, para cada ano e satélites diferentes, é possível quantificar o nível de revegetação nas cicatrizes e bacias. Após obter esses valores, uma taxa de revegetação foi criada para uma análise porcentual.

Uma taxa de revegetação utilizada com a seguinte fórmula:

Equação 1: Variação Porcentual

$$\frac{\text{Valor Final} - \text{Valor Inicial}}{\text{Valor Inicial}} * 100$$

$$\left(\frac{2010 - 2009}{2009} \right) * 100$$

Fonte: Produzido pelo próprio Autor

Para obter essa diferença porcentual do NDVI em %, individualmente para cada cicatriz. Foram trabalhados os anos de 2009-2010, 2010-2011, 2013-2014, 2015-2016, 2017-2018 e 2018-2019.

Após obter os valores percentuais individualmente para cada cicatriz, foram criados mapas para visualizar as alterações ocorridas nas cicatrizes. Na simbologia desses mapas, foram utilizadas 6 classes. As classes negativas incluem valores de -25% a -20% e de -20% a 0%, representando as áreas com perda de vegetação. As classes positivas abrangem valores de 0% a 40%, 40% a 80%, 80% a 100% e porcentagens maiores que 100%, representando as áreas com ganho de vegetação.

Essa abordagem nos permitiu analisar e visualizar de forma clara e organizada as mudanças no NDVI das cicatrizes de deslizamentos em cada bacia.

Foi realizada também uma análise Pixel a Pixel das cicatrizes, através da calculadora raster, é uma forma de analisar a revegetação, sendo realizada uma conta de subtração do ano mais recente menos o antigo, ou seja, 2010 – 2009; 2011 – 2010,

assim sucessivamente, através dessa conta é possível ter a diferença do número de pixel de um ano para o outro.

Assim, uma reclassificação por tabela foi realizada criando apenas três classes: Perda/Estabilidade/Ganho.

Quadro 6: Classes Pixel a Pixel

Classe	Intervalo de Valores
Classe 0	-2 a -0.0001
Classe 1	-0.0001 a 0
Classe 2	0 a +2

Fonte: Produzido pelo próprio Autor

O Histograma Raster é utilizado após estes processos para a contagem dos pixels.

Calculando assim em área (%) a mudança da vegetação nas cicatrizes a nível temporal.

Para validar o NDVI como proxy da revegetação foi realizada uma amostragem com valores de pixel em uma área não afetada pelos movimentos de massa. Foram escolhidas uma cicatriz por bacia, e inserido dois pontos, cada um em um píxel, (ponto 1 - começo da cicatriz/ ponto 2 - deposição da cicatriz). Assim, continuando a análise temporal (2009-2019) da evolução dos valores desses pixels. Garantindo a evolução da revegetação nas cicatrizes, tendo como comparativo os valores uma região vizinha às cicatrizes.

Foram adquiridas imagens das cicatrizes de deslizamentos posteriormente aos eventos de 2008 adiante, os satélites são o Landsat_5, Landsat_8 e Rapideye nas datas demonstradas no Quadro 7.

Quadro 7 – Datas das imagens e Satélites Utilizados

LANDSAT 5	LANDSAT 7	LANDSAT 8	RAPIDEYE
2008/02/03	2011/07/09	2014/08/26	2009/04/13
2009/02/01	2018/07/12	2015/05/09	2010/06/05
2010/02/04		2016/06/12	2011/06/04
		2017/04/28	2012/07/01
		2019/07/07	2013/05/08
			2014/06/29
			2015/08/03
			2016/07/08
			2017/08/05
			2018/06/08
			2019/06/19

Fonte: Produzido pelo próprio Autor

Por fim, na angariação dos dados obtidos, os modelos estatísticos de relação foram realizados através de linguagem R com o software Rstudio e Excel. As correlações dos dados foram apresentadas em tabelas de frequência, histogramas e gráficos de dispersão com o cálculo do R^2 .

Os parâmetros que foram relacionados através dos modelos estatísticos são: (Taxa Porcentual de Revegetação x Declividade), (Taxa Porcentual de Revegetação x Perímetro), e (Taxa Porcentual de Revegetação x Coeficiente de Compacidade (Kc)).

5.6 ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO

Para entender a dinâmica da revegetação a precipitação foi utilizada. Foi trabalhado e apresentando os valores médios anuais da precipitação durante os anos 2008-2019 da estação Pomerode (Código – 02649002), dados retirados a ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento) por ser a estação disponível mais próxima da área de análise. A análise da precipitação ao longo do tempo proporciona uma análise mais detalhada da revegetação local.

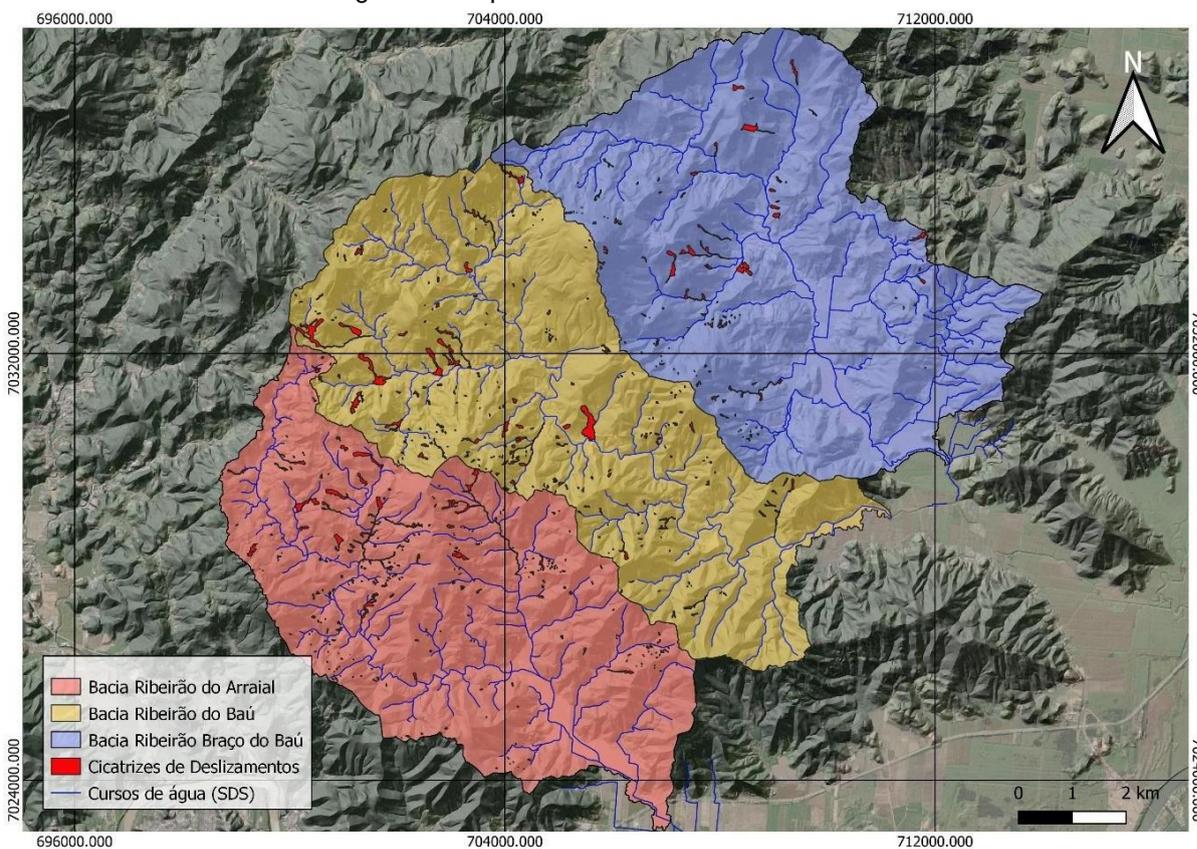
6 ANÁLISE E RESULTADOS

Os resultados obtidos apresentados a seguir, seguiram a base metodológica dos autores mencionados acima, resultados que visam analisar alguns parâmetros relacionados às cicatrizes e às sub bacias hidrográficas individualmente. Os parâmetros investigados contêm orientação, geologia, pedologia, declividade e, principalmente, os valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), apresentados em gráficos e tabelas. Além disso, são considerados dados de precipitação para compreender a relação entre os valores do NDVI das cicatrizes e outras variáveis morfométricas. Essa análise permitirá a compreensão da dinâmica das sub bacias e cicatrizes ao longo de um período de 10 anos.

6.1 MAPEAMENTO DAS CICATRIZES POR BACIA

As cicatrizes foram mapeadas visualmente nas três bacias hidrográficas de interesse, como está demonstrado no cartograma abaixo. E demonstrando também no Quadro 8 abaixo algumas características morfométricas das cicatrizes num geral por bacia hidrográfica, aumentando assim a sua caracterização.

Figura 9 - Mapa das cicatrizes nas três Bacias



Fonte: Produzido pelo próprio Autor

Quadro 8 – Características Morfométricas das Cicatrizes por Sub Bacia.

	Bacia Ribeirão do Baú		
	Área (m ²)	Declive (°)	Kc
Max	80.860,781	48,42	7,298
Min	37.053	2,59	1,1
Desvio Padrão	12.801	6,22	1,11
Média	4.633	24,38	2,1
	Bacia Ribeirão do Arraial		
	Área (m ²)	Declive (°)	Kc
Max	68.611,898	43,40	9,75
Min	16.54	10,28	1,05
Desvio Padrão	6.137,98	5,47	1,15
Média	2.111	24,70	2,06
	Bacia Ribeirão Braço do Baú		
	Área (m ²)	Declive (°)	Kc
Max	33.837,01	58,72	7,26
Min	9,44	12,74	1,07
Desvio Padrão	7093,35	8,28	1,10
Média	3.716,63	25,98	2,05

Fonte: Produzido pelo próprio A

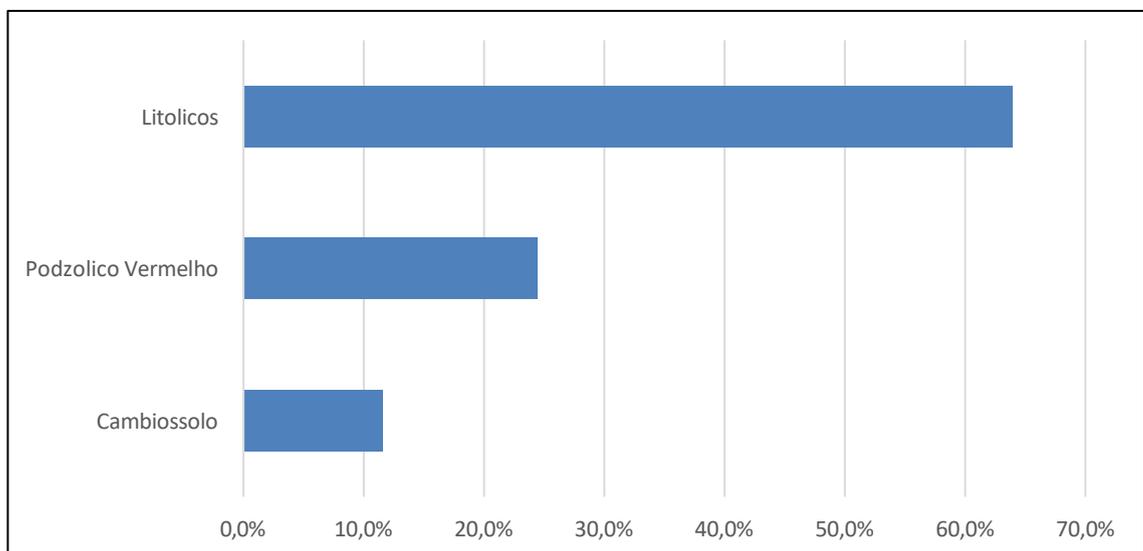
6.2 ESPACIALIDADE DAS CICATRIZES

6.1.1 SUB BACIA RIBEIRÃO DO BAÚ

Nesta sub bacia foram mapeadas um total de 266 cicatrizes, regionalizando as cicatrizes em cada parâmetro específico é possível analisar a sua distribuição. As cicatrizes nesta sub bacia estão inseridas mais em solos Litólicos, estes solos como mencionado anteriormente, apresentam baixa profundidade, com altas taxas de erosão, e são encontrados em áreas com maior declividade.

Cerca de 63,9% das cicatrizes da Sub Bacia Ribeirão do Baú estão em solos Litólicos, e 24,4% em solos Podzólico Vermelho, e o restante em Cambissolos.

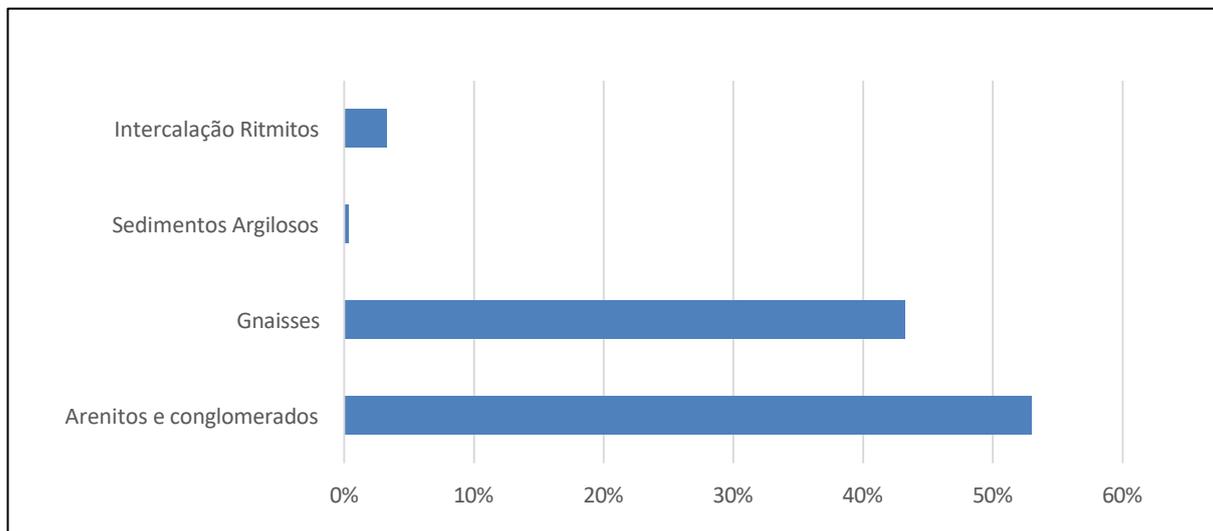
Gráfico 1 – Cicatrizes por Pedologia (%)



Fonte: Produzido pelo Autor

Como os solos Litólicos são susceptíveis á erosão, o tipo de solo está inteiramente relacionado, também ao tipo de rocha. As cicatrizes da Sub Bacia Ribeirão do Baú estão em maior número no tipo de rocha de Arenito e Conglomerados de tufos vulcânicos. Arenitos por serem rochas que armazenam água, têm uma função de retenção de água que pode levar á ocorrência de deslizamentos de terra. Portanto, na Sub Bacia Ribeirão do Baú em torno de, 53% das cicatrizes se concentram em áreas de Arenitos e 43,2% em rochas metamórficas (Gnaisses).

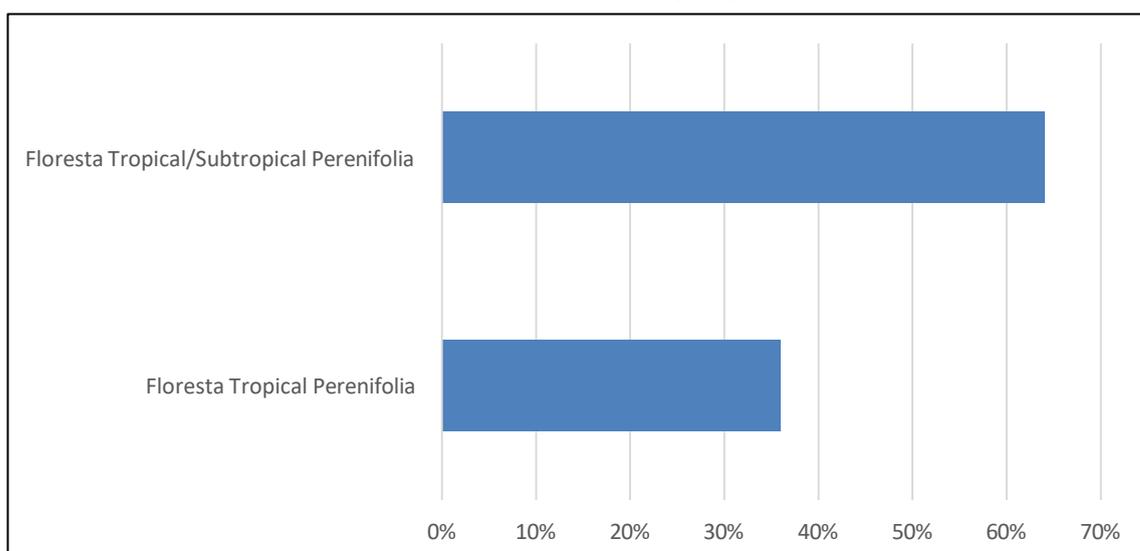
Gráfico 2 – Cicatrizes por Geologia (%)



Fonte: Produzido pelo Autor

A região da sub bacia está inserida em dois complexos de vegetação, o complexo tropical e subtropical, em ambos os casos as raízes não são profundas, são raízes rasas, ou seja, não consegue manter uma grande fixação do solo. Cerca de 64% das cicatrizes ocorreram no complexo FTSP (Floresta Tropical/Subtropical Perenifolia). E os outros 36% em FTP (Floresta Tropical Perenifolia), Subdivisões da Floresta Ombrófila Densa.

Gráfico 3 – Cicatrizes por Vegetação (%)



Fonte: Produzido pelo Autor

Uma das características mais importantes é a orientação das vertentes para que essas cicatrizes estão voltadas. As cicatrizes se originaram mais nas vertentes voltadas para Sudeste com (20,6%) das cicatrizes, e em seguida cicatrizes voltadas para Este com (19,1%).

Na Sub Bacia Ribeirão do Baú as cicatrizes estão organizadas conforme apresentado no quadro e gráfico abaixo.

Quadro 9 – Cicatrizes (%) por orientação

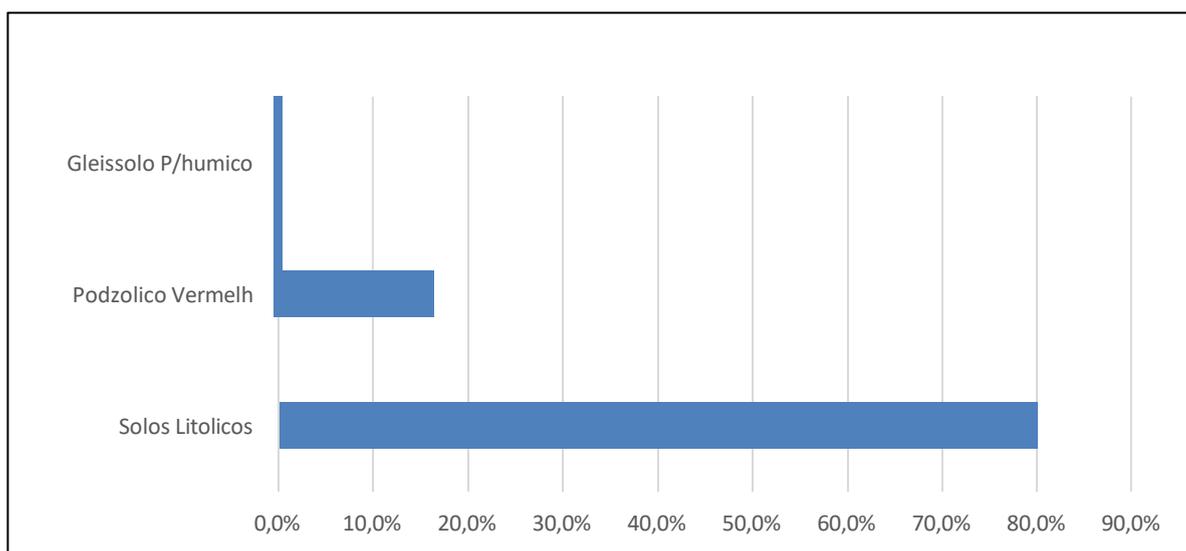
Vertentes	Deslizamentos
1(N)	16,1%
2(NE)	18,7%
3(E)	19,1%
4(SE)	20,6%
5(S)	7,5%
6(SO)	4,1%
7(O)	8,6%
8 (NO)	4,8%

6.1.2 SUB BACIA BRAÇO DO BAÚ

Nesta bacia foram mapeadas um total de 145 cicatrizes, as cicatrizes estão inseridas também mais em solos Litólicos.

Cerca de 80,6% das cicatrizes da Bacia Braço do Baú estão em solos Litólicos, e 16,5% em solos Podzólico Vermelho, e apenas 0,6% em Gleissolos Pouco Húmicos, estes solos retêm uma grande quantidade de água, por isso acumulam bastante matéria orgânica, e se originam em relevos praticamente planos

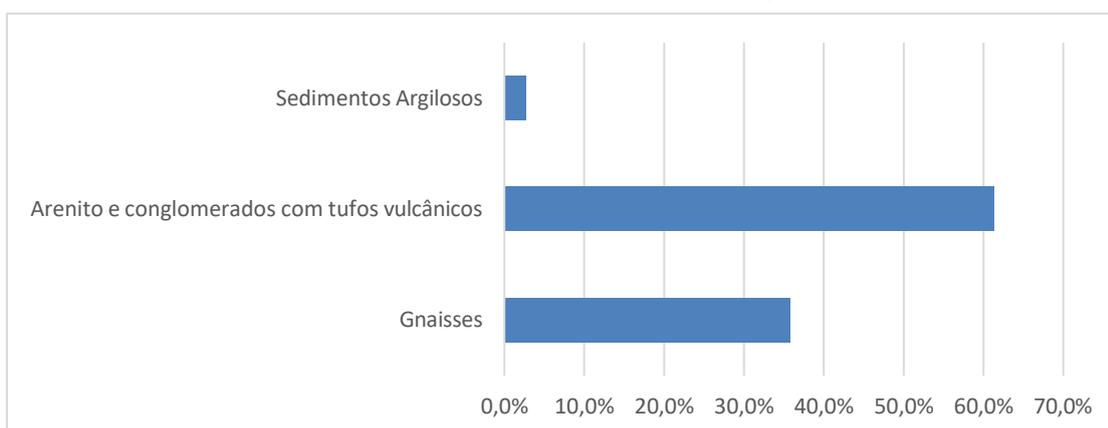
Gráfico 4 – Cicatrizes por Pedologia



Fonte: Produzido pelo Autor

A nível geológico as cicatrizes na Sub Bacia do Braço do Baú estão também inseridas em maior número em áreas de Arenitos, e uma outra parte significativa das cicatrizes fazem parte da região que contém Gnaisses. Em torno de 89 cicatrizes, cerca de 61,3% estão inseridas em regiões de Arenitos, e 35,8% em Gnaisses, e por fim, 2,7% das cicatrizes em Sedimentos Argilosos. Todas estas informações estão apresentadas no gráfico 6 abaixo.

Gráfico 5 – Cicatrizes por Geologia (%)

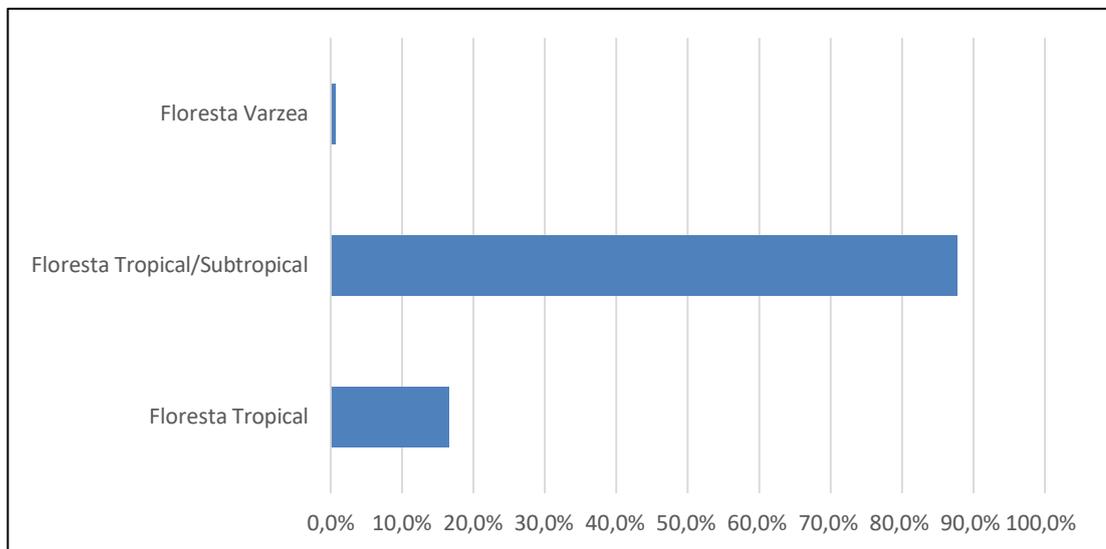


Fonte: Produzido pelo Autor

Ao contrário da sub bacia anterior, a região desta está inserida em três complexos de vegetação, o complexo tropical e subtropical, nos três casos as raízes

não são profundas, são raízes rasas, ou seja, não consegue manter uma grande fixação do solo. A Floresta Tropical Perenifólia de Várzea se encontram em solos aluviais, em regiões próximas a rios. Cerca de 87,7% das cicatrizes ocorreram no complexo FTSP (Floresta Tropical/Subtropical Perenifólia), os outros 16,5% em FTP (Floresta Tropical Perenifólia), e por fim 0,6% uma cicatriz concentrada em região de FTV (Floresta Tropical de Várzea).

Gráfico 6 – Cicatrizes por Vegetação (%)



Fonte: Produzido pelo Autor

Em relação à orientação das vertentes a maioria delas estão voltadas para o Este com 29,6%, e logo após cicatrizes voltadas para Nordeste com 17,2%, o Quadro 10 abaixo contém os demais dados da orientação das vertentes.

Quadro 10 – Cicatrizes (%) por orientação

Vertentes	Deslizamentos (%)
1(N)	15,2%
2(NE)	17,2%
3(E)	29,6%
4(SE)	15,8%
5(S)	6,2%
6(SO)	1,3%

7(O)	5,5%
8(NO)	8,9%

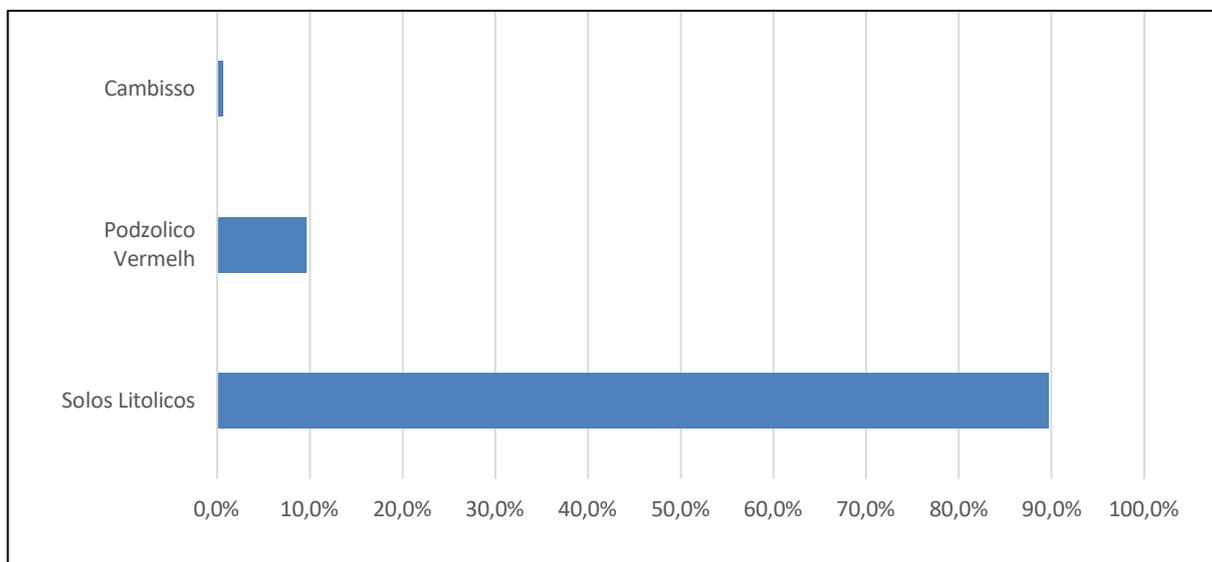
Fonte: Produzido pelo Autor

6.1.3 SUB BACIA RIBEIRÃO DO ARRAIÀL

Nesta sub bacia foram mapeadas um total de 311 cicatrizes. As cicatrizes, estão inseridas também mais em solos Litolicos.

Cerca de 89,7% das cicatrizes da Sub Bacia Ribeirão do Baú estão em solos Litólicos, e apenas 9,6% em solos Podzolic Vermelho, e por fim 0,6% em Cambissolos, já anteriormente caracterizados neste trabalho.

Gráfico 7 – Cicatrizes por Pedologia (%)

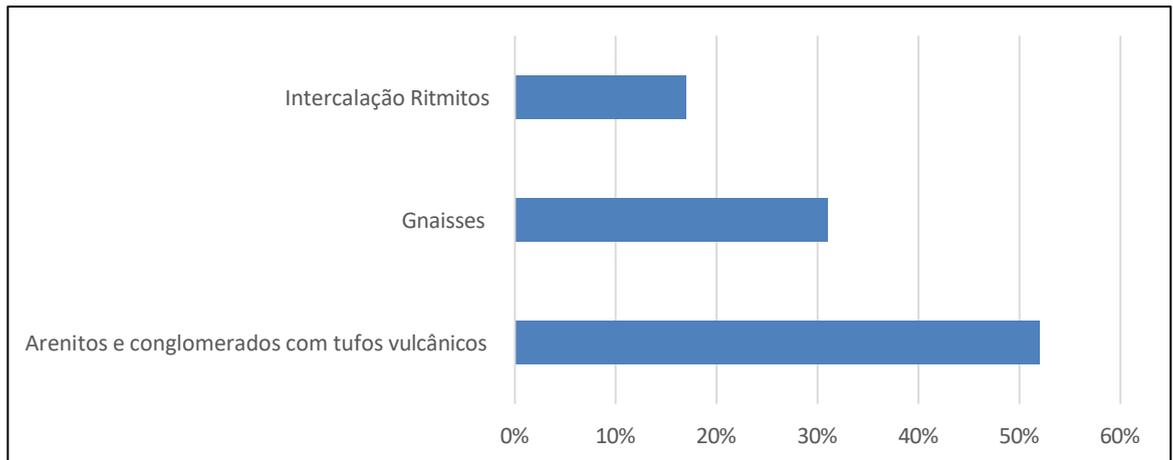


Fonte: Produzido pelo Autor

A geologia local nesta sub bacia é dividida em três complexos, Arenitos, Gnaisses e Intercalações Ritmitos, essas rochas Ritmitos são um tipo de rocha sedimentar, rochas provenientes do Quaternário, as cicatrizes instaladas na região geológica Ritmito estão inseridas em solos Litólicos, onde se concentram em maior quantidade as cicatrizes. Aproximadamente 52% das cicatrizes estão em complexo

de Arenitos, outros 31% estão em Gnaisses, e por último as intercalações Ritmitos com 17%.

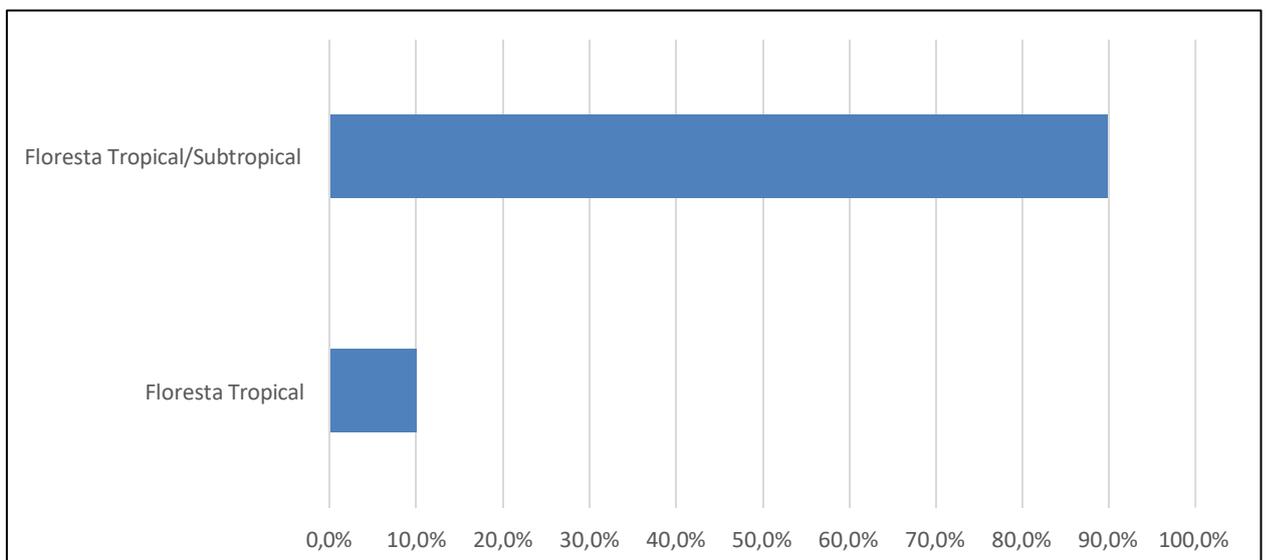
Gráfico 8 – Cicatrizes por Geologia (%)



Fonte: Produzido pelo Autor

A maioria das cicatrizes nesta sub bacia estão dentro do complexo VTSP (Vegetação Tropical/Subtropical Perenifolia), por volta de 90%, o restante, está inserido no outro complexo VTP (Vegetação Tropical Perenifolia). O gráfico abaixo demonstra os dados mencionados.

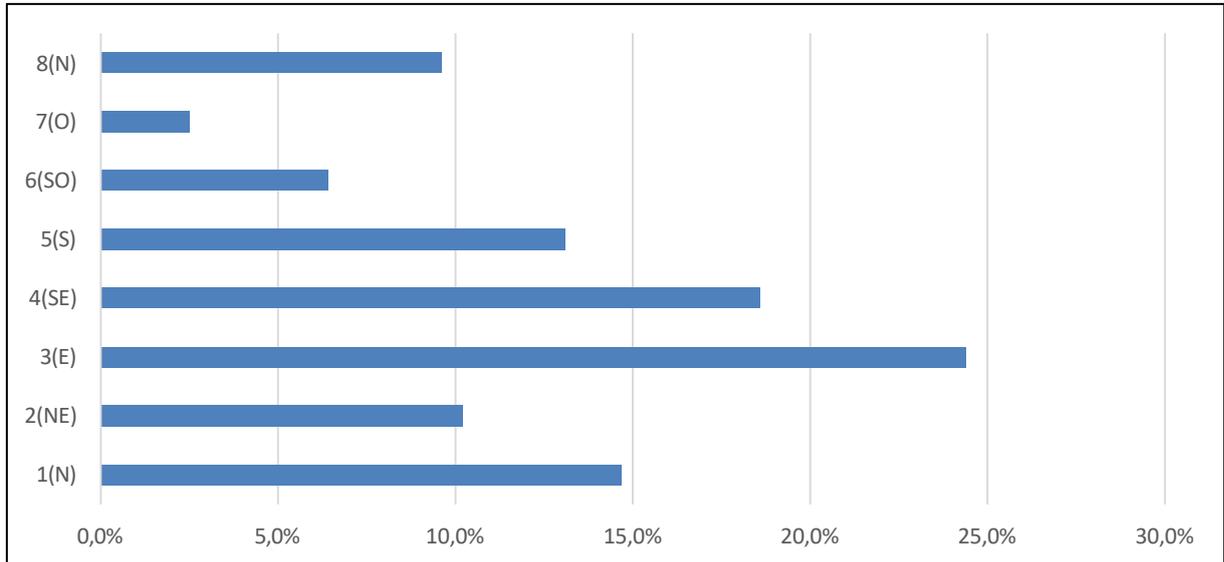
Gráfico 9 – Cicatrizes por Vegetação (%)



Fonte: Produzido pelo Autor

Na Sub Bacia Ribeirão do Arraial a orientação das cicatrizes estão mais organizadas para o Este com (24,4%), e em seguida para o Sudeste com (18,6%), e voltadas para o Sul com cerca de (13,1%). No gráfico abaixo estão apresentados os valores por orientação.

Gráfico 10– Cicatrizes por Orientação das Vertentes(%)



Fonte: Produzido pelo Autor

6.1.4 REPRESENTAÇÃO DA ORIENTAÇÃO DAS CICATRIZES

Para uma representação no mapa, foram escolhidas para cada uma das sub bacias apenas as 4 classes de orientação com maior número de cicatrizes.

A Sub bacia com o maior número de cicatrizes voltadas para o Sul é a Bacia Ribeirão do Arraial, como demonstra o mapa abaixo.

Nas três sub bacias a quantidade de cicatrizes voltadas para o Sudeste apresentou um número considerável para análises. A Bacia com o maior número de cicatrizes voltadas para Sudeste foi a Bacia Ribeirão do Baú.

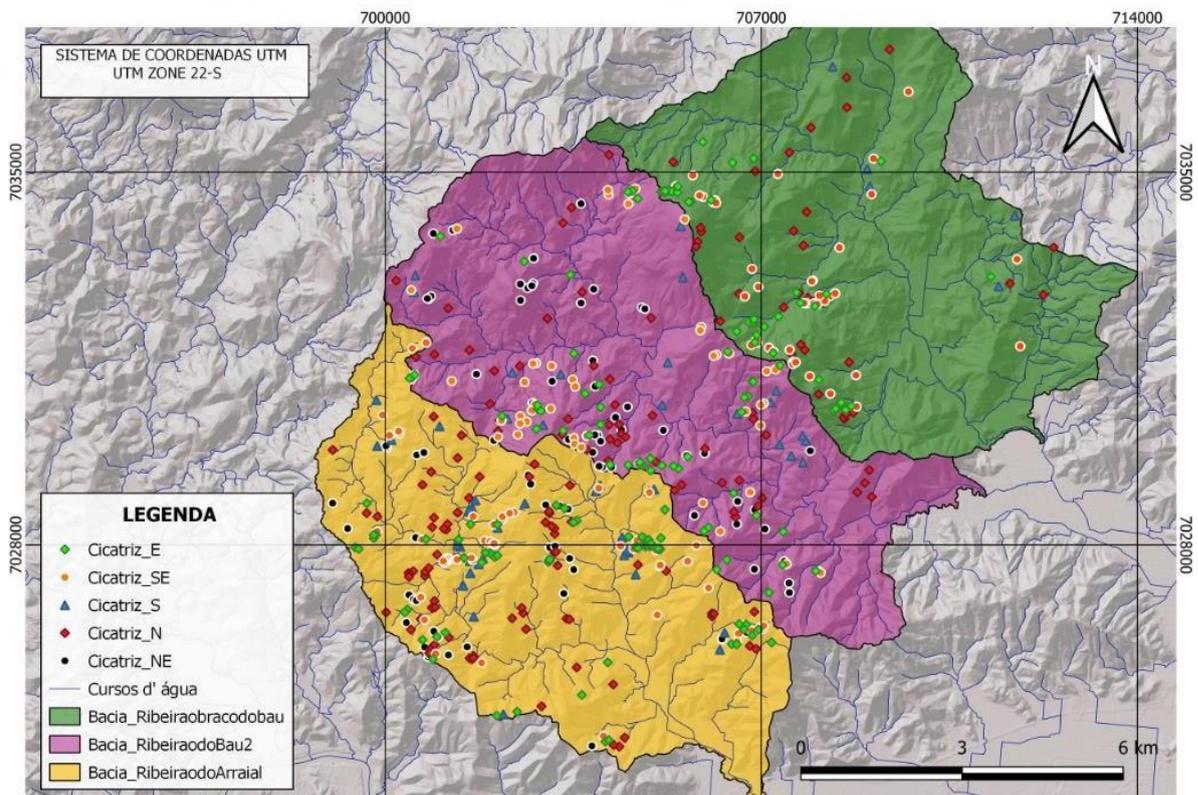
As cicatrizes voltadas para o Leste nas três Sub bacias foram das orientações que mais ocorreram, porém, com cicatrizes com áreas menores.

Com áreas maiores e com o maior número nas três Sub bacias, estão apresentadas as cicatrizes voltadas para o Norte. Na Sub Bacia Ribeirão do Arraial os

deslizamentos maiores ocorreram em rochas de tipo Gnaisses tanto em solos Litólicos como Podzólicos Vermelho-Amarelo. E na sub bacia do Ribeirão do Baú as maiores cicatrizes se originaram também em rochas de tipo Gnaisses, porém com a presença dos Cambissolos.

E por fim, as cicatrizes voltadas para o Nordeste com maiores números, ocorreram apenas nas Sub bacias do Ribeirão do Baú e também na Ribeirão Braço do Baú. As cicatrizes estão apresentadas no mapa (Figura 10) e nas rosetas organizadas conforme no cartograma, que indicam por bacia, como as cicatrizes se orientam espacialmente.

Figura 10 - Aspect das cicatrizes nas três Bacias



Fonte: Produzido pelo Autor

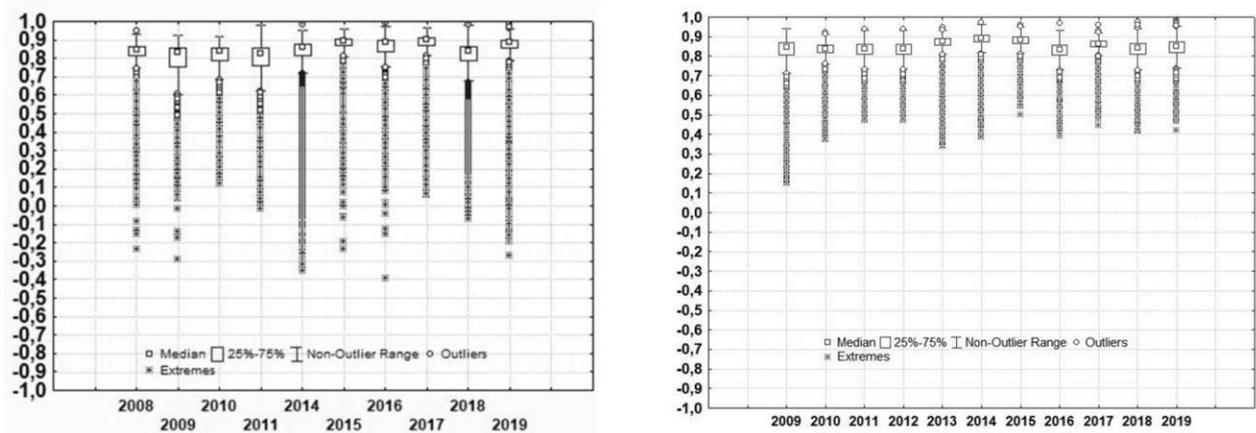
6.2 ANÁLISE DOS VALORES DE NDVI NAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS – LANDSAT 7/5 E RAPIDEYE

Após gerar o NDVI foram retirados os valores de pixel para cada bacia. Assim, é possível analisar a dispersão desses valores, analisando a essa variação nos valores, conseqüentemente analisando a mudança da vegetação ao longo de 10 anos (2009-2019). Os anos de 2012 e 2013 não contêm valores, pois, os satélites Landsat não estavam disponíveis nesses anos, por isso a ausência de dados.

6.2.1 SUB BACIA BRAÇO DO BAÚ

Abaixo está demonstrado os valores do NDVI na bacia ao longo dos anos de análise.

Gráfico 11: Valores NDVI na Sub-Bacia Braço do Baú LANDSAT/RAPIDEYE (2008-2019)



Fonte: Produzido pelo Autor

Como é possível observar no Box-Plot os valores do NDVI pré evento são mais altos, com mediana de 0,852, e com um valor de mínima mais elevado que no ano consecutivo. O que demonstra que, no ano de 2008 a Bacia do Braço do Baú continha uma vegetação saudável, nativa, mais abundante.

Após esse ano, os valores de 2009 são diferentes por conta do evento ocorrido na região. Analisando o Box-Plot no ano de 2009 ocorreu uma maior variação dos seus valores, o que demonstra uma mudança na vegetação local.

A sua mediana com valor de 0,833, demonstrando e registrando uma perda de vegetação no local, neste ano o NDVI apresentou valores mais baixos, o seu valor de mínima com 0,60 e outros valores abaixo de 0,0 (Outliers), o que releva sinais de solo exposto na Bacia, ou seja, deslizamentos de terra por conta da forte precipitação.

Um ano após a ocorrência do evento, os valores do NDVI aumentaram, mostrando um crescimento lento da vegetação na bacia, uma mediana de 0,838, e com uma mínima de 0,687, e uma variação de 0,7. No ano de 2011 a Bacia volta a apresentar valores um pouco mais baixos do que o ano anterior, essas mudanças nos valores podem ocorrer por vários motivos, perda de vegetação nas encostas, mudanças no uso do solo, com uma mediana de 0,827 e uma variação de 0,9 nos valores entre 25% e 75%, o que demonstram novamente uma mudança na bacia hidrográfica.

Pulando os anos de 2012 e 2013, os anos de 2014 e 2015 demonstraram uma revegetação significativa na bacia. Com valores com mediana de 0,861 e 0,897, e uma mínima de 0,72 e 0,81, e com uma variação nos valores de 25% a 75% de 0,06 e de 0,04, sendo assim, de forma geral a bacia vai se regenerando de forma positiva.

No ano de 2017 a bacia apresenta mais um aumento nos valores do NDVI, sendo o ano que demonstra a maior revegetação da bacia no total dos anos em análise. Com mediana de 0,89 e uma variação nos valores entre 25% e 25% de 0,03.

No ano de 2018 o NDVI registra uma queda nos valores, a mediana do ano é de 0,841, e uma mínima de 0,675 (mais alto do que 2009). E por fim, o ano de 2019 apresenta um aumento novamente do NDVI, com uma mediana de 0,885 e valores de mínima de 0,78 e uma variância nos valores entre 25% e 75% de 0,04.

Portanto a Bacia do Braço do Baú apresentou pós evento uma revegetação significativa, positiva, pois os valores de 2019 são maiores que os valores do pré evento (2008).

O Rapideye (lado direito), apresenta uma resolução melhor que o Landsat, portanto, as variâncias nos valores do NDVI podem ser significativas. O ano 2008 não foi possível analisar por conta da ausência do satélite.

No ano 2008 (ano do evento) o NDVI apresentou valor com mediana de 0,846 e valores de mínima com 0,713, e uma variância de 0,06 o que demonstra áreas com e sem cobertura vegetal. No ano de 2010 a diferença não foi tão significativa, o ano

apresentou valores com mediana de 0,838 e uma mínima de 0,761 e uma variância de 0,04, ou seja, ocorreu uma leve revegetação na Bacia.

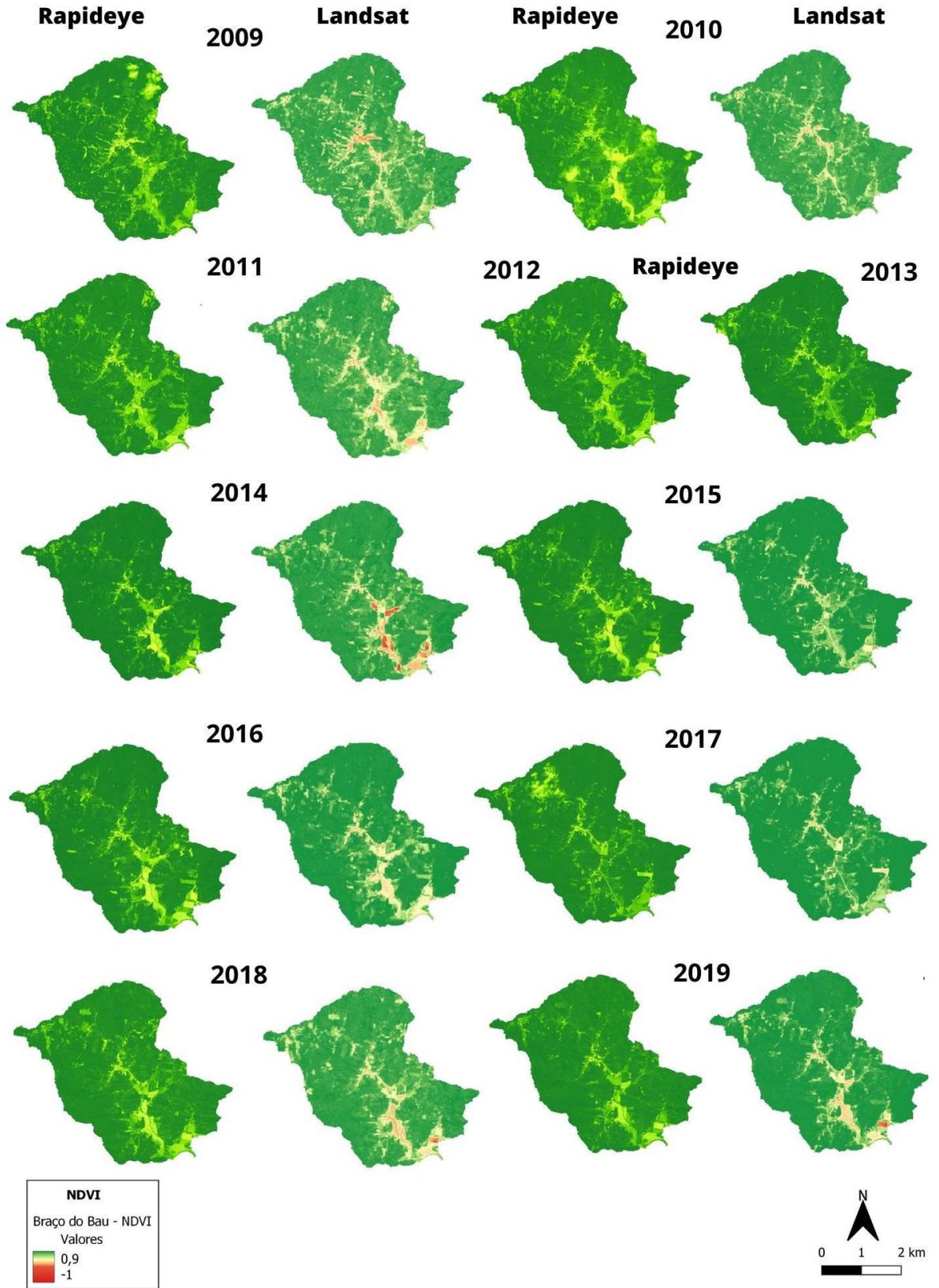
Para o ano seguinte ocorreu uma perda pequena na vegetação, o ano de 2011 e 2012 são praticamente idênticos, sem grandes mudanças nos valores do NDVI, com uma mediana de 0,84 e uma mínima de 0,735, e no ano de 2012 o NDVI apresentou mediana de 0,839 e um valor de mínima de 0,735.

A partir do ano de 2013 a bacia apresentou um aumento da vegetação, com uma mediana de 0,874 e com valor mínimo de 0,811 e uma variância de 0,03. Diferentemente do Landsat utilizando o índice no Rapideye demonstrou que, o ano que mais revegetou na bacia foi o ano de 2014, com uma mediana de 0,89 e valores mínimos de 0,872 com uma variância de 0,02.

Em seguida o ano de 2015 e 2016 apresentam valores mais baixos do NDVI com mediana de 0,882 e valores com mínima de 0,812. E no ano de 2016 a média decaiu para 0,834, e apresenta uma mínima de 0,728 e uma variância de 0,05 o que demonstra uma perda da vegetação local. Assim a bacia até ao final da análise (2019) apresenta um aumento novamente dos valores do NDVI, com mediana de 0,849 e um valor de mínima de 0,738.

A análise dos valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Bacia do Braço do Baú revela uma série de mudanças ao longo dos anos. Antes do evento, em 2008, os valores do NDVI eram mais altos, indicando uma vegetação saudável e abundante. No ano seguinte, após o evento, houve uma perda significativa de vegetação, evidenciada por uma diminuição nos valores do NDVI, presença de outliers e solo exposto. No entanto, um ano após o evento, os valores do NDVI começaram a aumentar novamente, mostrando um crescimento lento da vegetação na bacia. Em 2011, houve uma nova diminuição nos valores do NDVI, possivelmente devido a perda de vegetação nas encostas e mudanças no uso do solo. Nos anos seguintes, a bacia demonstrou uma revegetação significativa, com valores do NDVI aumentando gradualmente. Em 2017, foi observada a maior revegetação da bacia durante o período analisado. Em 2018, ocorreu uma queda nos valores do NDVI, mas em 2019, houve um aumento novamente. Em geral, a Bacia do Braço do Baú apresenta uma tendência de revegetação positiva após o evento, com valores do NDVI em 2019 superiores aos valores pré-evento em 2008.

Figura 11 - Bacia Braço do Baú - Landsat/Rapideye NDVI (2008-2019)



6.2.2 SUB BACIA RIBEIRÃO DO ARRAIAL

Abaixo está demonstrado os valores do NDVI na sub bacia ao longo dos anos de análise.

Os valores do NDVI pré evento na Micro Bacia Ribeirão do Arraial são ligeiramente mais altos que o do evento. Com uma mediana de 0,838, com uma variância dos valores de 25% a 75% de 0,04, e com valores de mínima de 0,74 e máxima de 0,91.

Consequentemente o ano seguinte apresenta valores mais baixos, o que simboliza as cicatrizes de deslizamentos na sub bacia, portanto, no ano de 2009 a mediana do NDVI foi de 0,832, e apresentando um valor de mínima de 0,69, e apresentando uma variância de 0,06.

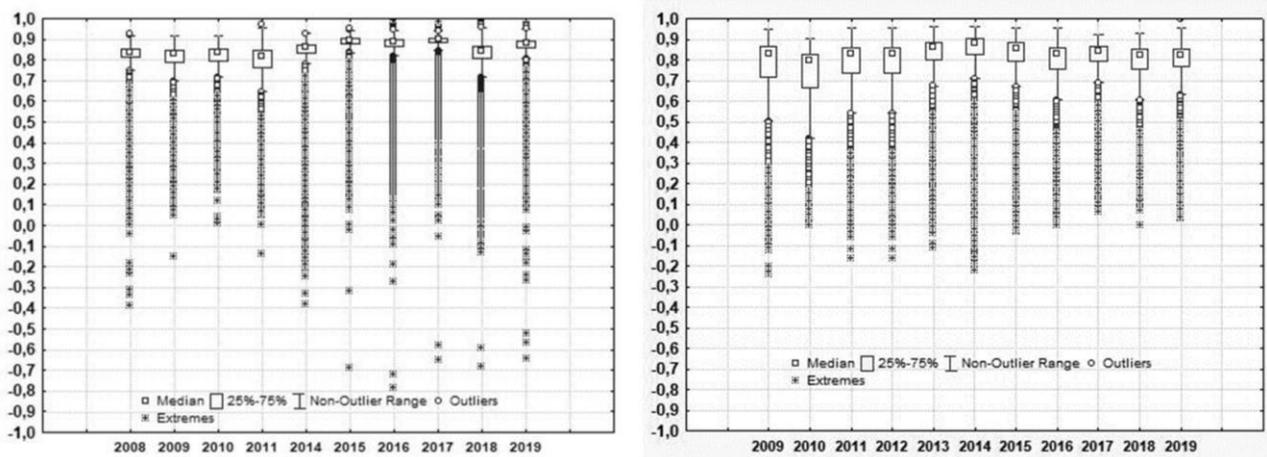
No ano de 2010 os valores do NDVI apresentam uma pequena subida comparada ao ano anterior, com uma mediana de 0,834, e com um valor de mínima de 0,71, o que demonstra uma revegetação na sub bacia.

No ano de 2011 a sub bacia voltou a apresentar valores mais baixos que o ano retrasado, com uma mediana de 0,81 e um valor de mínima de 0,64, ou seja, a sub bacia perdeu novamente vegetação. Analisando o ano de 2014 os valores de NDVI aumentam significativamente, com mediana de 0,86 e uma mínima de 0,78 e uma variância de 0,04, o que demonstra um aumento da vegetação novamente na região.

Após este ano, a bacia só se revegetou, no ano de 2015, 2016 e 2017 apresentaram valores altos do índice do NDVI, com mediana de 0,89 e 0,88 e 0,89, portanto, o ano que mais apresentou alta de revegetação na sub bacia foi o ano de 2017 com valores de mínima de 0,84 com uma variância de 0,02 nos valores entre 25% e 75%.

No ano de 2018 o NDVI apresentou uma queda, com mediana de 0,84 e uma mínima de 0,71, o que determina uma perda da vegetação na sub bacia. Por fim, no ano de 2019 os valores voltam novamente a aumentar, com valores de mediana de 0,88 e valores de mínima de 0,80, demonstrando novamente uma revegetação local.

Gráfico 12: Box-Plot Ribeirao do Arraial Valores LANDSAT/RAPIDEYE do NDVI na sub bacia (2008-2019)



Fonte: Produzido pelo Autor

Abaixo está demonstrado os valores do NDVI na sub bacia ao longo dos anos de análise.

Com a utilização do Rapideye (lado direito) o NDVI apresentou uma queda na bacía do ano de 2009 para 2010, inicialmente com mediana de 0,830 e com valor de mínima de 0,501, para uma mediana de 0,794 e com valores de mínima de 0,417.

Após esse ano de maior perda de vegetação, o NDVI apresentou aumento ao longo dos demais anos, o ano de 2011 e 2012 são bem parecidos nos valores obtidos, com mediana de 0,826 e com valores de mínima de 0,544 com uma variância de 0,12, e em 2012 com mediana de 0,827 e com valores de mínima de 0,544.

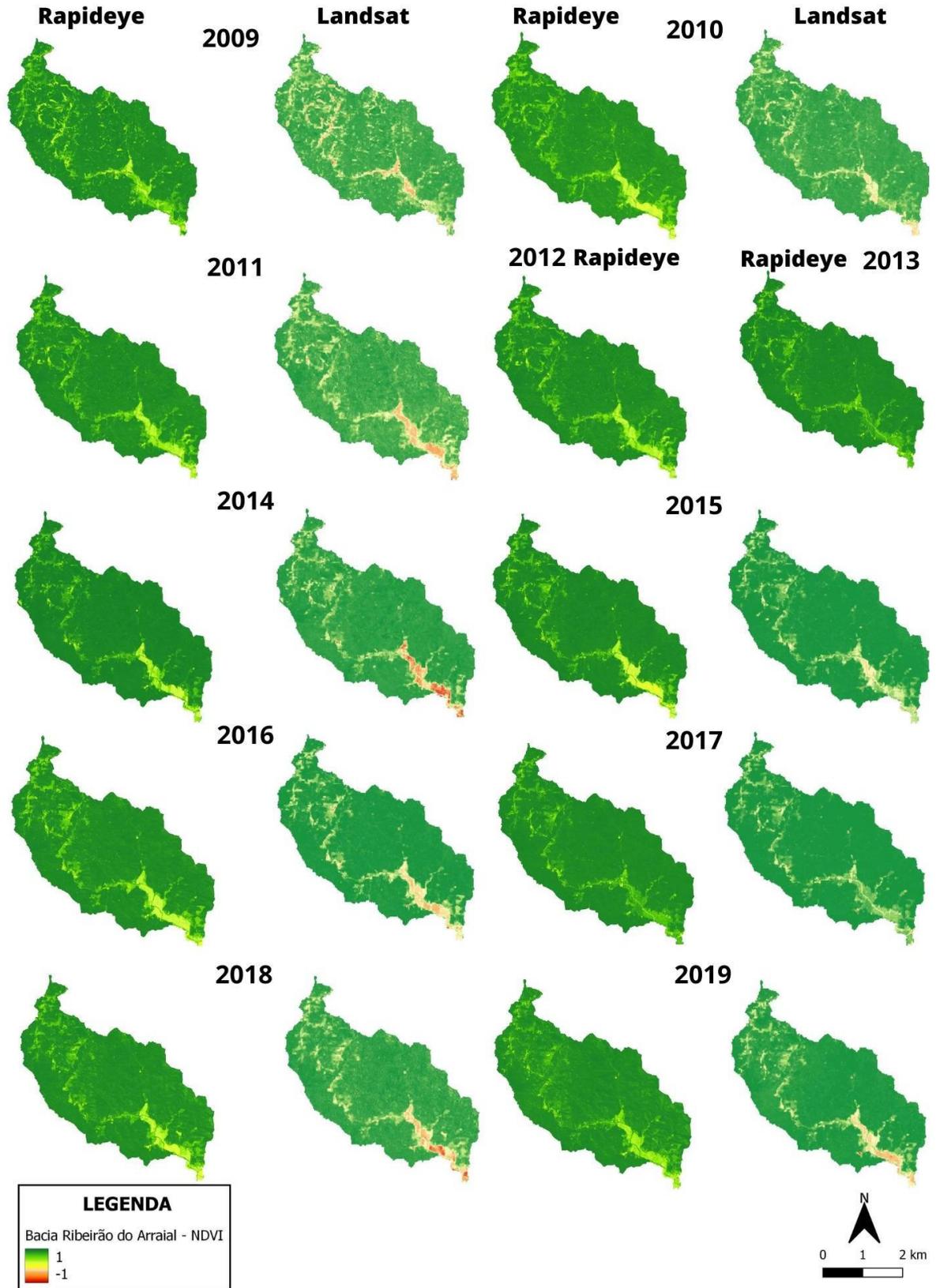
A partir de 2013 a bacía apresentou gradualmente valores mais altos do NDVI, com mediana de 0,864 e com valores mínimos de 0,673 com uma variação nos valores de 25% a 75% de 0,08. E no ano de 2014 o NDVI apresentou o valor mais alto dos anos em análise, com uma mediana de 0,879 e com um valor mínimo de 0,713, após este ano a bacía volta a apresentar valores mais baixos do NDVI, porém a bacía praticamente se estabiliza ao longo de 2016 até 2019.

A sub bacía apresentou mais variação nos valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Os valores do NDVI mostraram flutuações significativas ao longo dos anos, com períodos de altos e baixos valores. Essa variação pode ser atribuída a fatores além da revegetação natural, ao uso do solo, a

agricultura nas áreas de inundação aumentou após 2011. Portanto, a Bacia do Ribeirão do Arraial demonstrou uma maior variabilidade nos valores do NDVI em comparação com outras sub bacias.

Abaixo está apresentando o mapa (Figura 12) do NDVI da Bacia Ribeirão do Arraial ao longo dos anos em análise descritos acima. Assim, conseguindo observar visualmente a mudança na sub bacia.

Figura 12 - Bacia Ribeirão do Arraial – Landsat NDVI (2008 - 2019)



6.2.3 SUB BACIA RIBEIRÃO DO BAÚ

Abaixo está demonstrado os valores do NDVI na sub bacia ao longo dos anos de análise.

O ano pré evento na Sub bacia Ribeirão do Bau apresentou uma mediana do NDVI de 0,84, e valores com mínima de 0,76, porem em 2009 os valores descaíram por conta o evento analisado, demonstrando valores com mediana de 0,832 e mínima de 0,697, e com uma variância de 0,06, enfatizando assim o surgimento das cicatrizes de deslizamentos na Bacia.

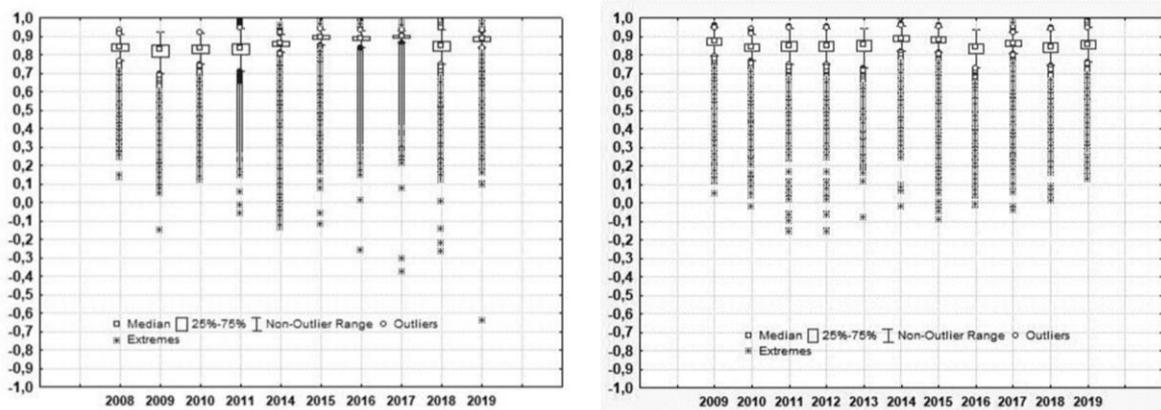
No ano de 2010 pós evento, a mediana subiu apresentando um valor de 0,837 e com valor de mínima de 0,74, e uma variância de 0,04 demonstrando assim uma revegetação na região. No ano de 2011 a Bacia apresentou valores do NDVI com mediana de 0,834 e valores de mínima de 0,71, trazendo um resultado que a Bacia perdeu um pouco de vegetação neste ano, apresentando uma variância nos valores de 25% a 75% de 0,06.

Já no ano de 2014, 2015, 2016 e 2017 como as demais sub bacias o NDVI apresentou alta, ou seja, as bacias se revegetaram mais ao longo destes anos, o ano de 2014 apresentou mediana de 0,862, o ano de 2015 com mediana de 0,895, valor bem alto de NDVI por conta de uma vegetação saudável.

No ano de 2016 a mediana foi de 0,888 com mínima de 0,842, e o ano em que o NDVI apresentou valor mais elevado foi o de 2017 com mediana de 0,899 com mínima de 0,862 e uma variância de 0,02. No ano de 2018 os valores do NDVI decaem levemente, apresentando uma mediana de 0,849 e mínima de 0,750, bem próximo dos valores pré evento,

E por fim, no ano de 2019 o NDVI apresentou uma mediana de 0,885 e valores mínimos de 0,841, demonstrando novamente uma revegetação local.

Gráfico 13: Valores NDVI Ribeirao do Baú LANDSAT/RAPIDEYE na sub bacia de interesse (2008-2019)



Fonte: Produzido pelo Autor

Abaixo está demonstrado os valores do NDVI na sub bacia ao longo dos anos de análise.

O ano de 2009 na Sub bacia Braço do Baú o NDVI tanto no Landsat quanto no Rapideye apresentaram valores altos com mediana de 0,871 e valores de mínima de 0,792 e com uma variância de 0,03, assim como as demais sub bacias o ano de 2011 e 2012 apresentam uma estabilidade nos valores do NDVI.

O ano de 2013 já demonstra uma alta nos valores com uma mediana de 0,856 e com valores de mínima de 0,727, e, portanto, o ano de 2014 foi novamente para o Rapideye o ano que ganhou mais vegetação, com valores de mediana de 0,89 e valores de mínima de 0,870 com uma variância de 0,02, o que novamente demonstra uma estabilização e um crescimento saudável da vegetação.

O Ano de 2016 apresentou uma queda nos valores com mediana de 0,839 com valores de mínima de 0,809 e com uma variância de 0,06.

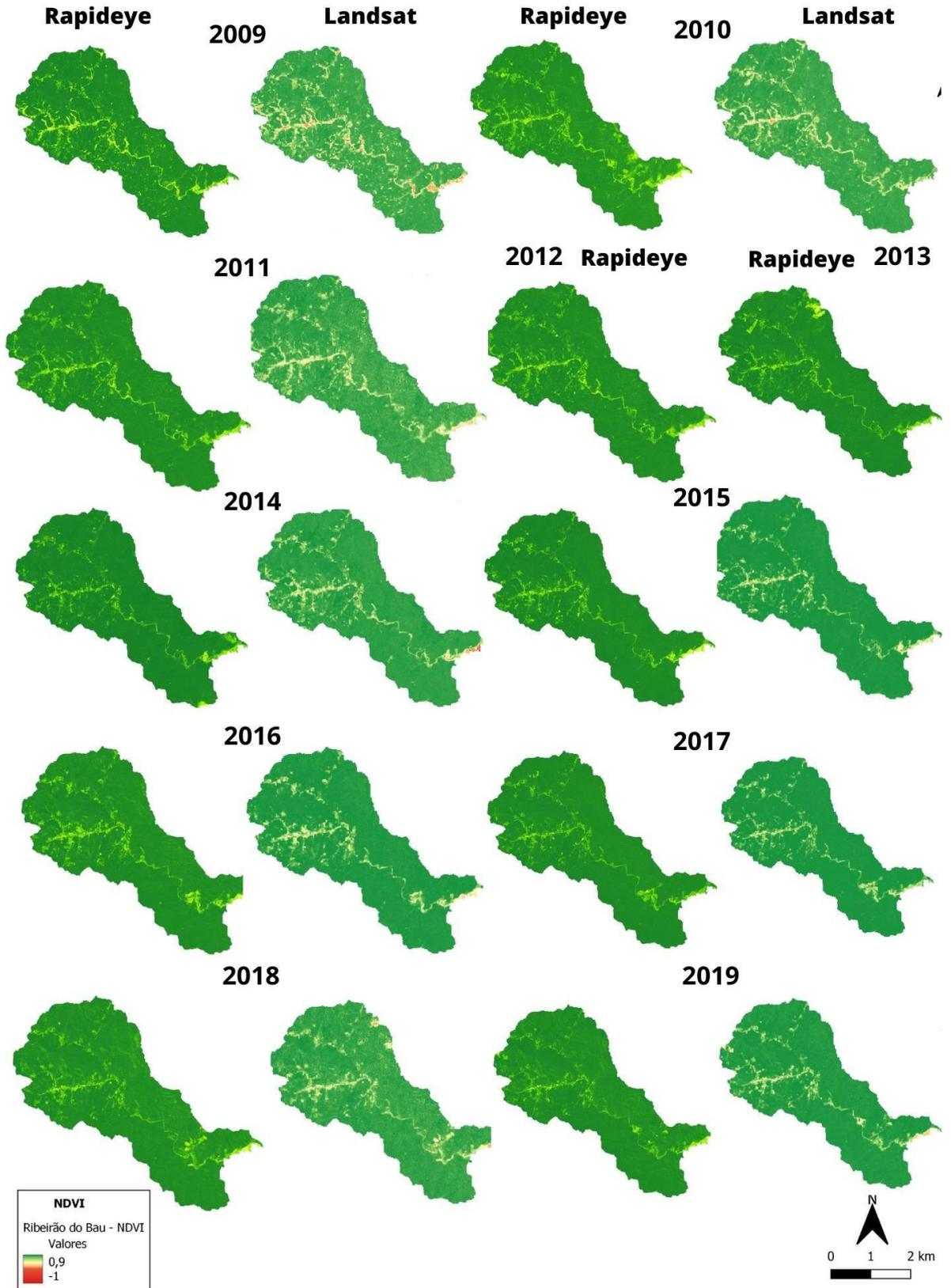
Após 2016 a bacia apresentou valores do NDVI mais altos, mostrando uma estabilização da vegetação na região.

Assim sendo, a bacia apresentou uma maior revegetação e uma mudança mais positiva no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) ao longo do tempo. Os valores do NDVI mostraram uma tendência de aumento gradual após o evento, indicando uma recuperação significativa da vegetação na região.

Especificamente, os anos de 2015, 2016 e 2017 foram destacados como períodos em que a bacia apresentou uma alta revegetação, com valores do NDVI mais elevados e próximos aos de uma vegetação saudável. Essa tendência positiva indica uma melhora contínua na cobertura vegetal ao longo do tempo na Sub Bacia do Ribeirão do Baú. E enfatizando que esta sub bacia não apresenta tantas áreas de agricultura em regiões de inundação.

Abaixo está apresentando o mapa do NDVI da Sub Bacia Ribeirão do Baú (Figura 13) ao longo dos anos em análise descritos acima. Assim, conseguindo observar visualmente a mudança na sub bacia. E também está apresentando dois quadros com os valores do NDVI utilizando a estatística zonal (méd,mín,máx,dev.) tanto para o Landsat quanto para o Rapideye.

Figura 13 - Bacia Ribeirão do Baú- Landsat NDVI (2008 - 2019)



Fonte: Produzida pelo Autor

As sub bacias apresentaram uma certa uniformidade ao longo dos 10 anos de análise em relação à sua revegetação, anos ganhando mais outros anos perdendo mais vegetação, por conta de inúmeros fatores, tanto antrópicos, como a dinâmica em áreas de agricultura nas áreas de banhado e inundação, como também por conta das precipitações em determinados anos.

A sub bacia Ribeirão do Baú foi a que apresentou uma variação menor de valores do NDVI no Interquartil, o que significa alterações menores de vegetação ao longo dos anos de análise.

Figura 14 - Estatística Zonal (NDVI – Landsat)

NDVI	Bacia Braço do Bau			
LANDSAT (NDVI)	Média	Desv.Padrão	Máx	Mín
2008	0,81	0,10	0,95	-0,24
2009	0,78	0,13	0,92	-0,29
2010	0,80	0,11	0,92	0,12
2011	0,77	0,14	1,00	-0,02
2012				
2013				
2014	0,80	0,16	0,98	-0,35
2015	0,86	0,10	0,96	-0,24
2016	0,83	0,13	1,00	-0,39
2017	0,86	0,10	0,97	0,06
2018	0,79	0,14	0,99	-0,07
2019	0,84	0,14	1,00	-0,27
	Bacia Ribeirao do Arraial			
	Média	Desv.Padrão	Máx	Mín
2008	0,81	0,09	0,93	0,39
2009	0,77	0,13	0,91	-0,36
2010	0,80	0,10	0,91	0,01
2011	0,77	0,14	0,97	-0,14
2012				
2013				
2014	0,81	0,15	0,93	-0,38
2015	0,86	0,10	0,96	-0,69
2016	0,84	0,13	1,00	-0,79
2017	0,87	0,08	0,98	-0,65
2018	0,80	0,14	0,99	-0,68
2019	0,84	0,13	1,00	-0,64
	Bacia Ribeirao do Bau			

	Média	Desv.Padrão	Máx	Mín
2008	0,83	0,06	0,93	0,13
2009	0,79	0,13	0,92	-0,15
2010	0,81	0,09	0,92	0,12
2011	0,81	0,09	0,99	-0,06
2012				
2013				
2014	0,84	0,08	0,96	-0,14
2015	0,88	0,07	0,99	-0,12
2016	0,86	0,08	1,00	-0,26
2017	0,88	0,07	1,00	-0,38
2018	0,83	0,08	0,99	-0,26
2019	0,87	0,08	1,00	-0,64

Fonte: Produzida pelo Autor

Figura 15 - Estatística Zonal (NDVI – Rapideye)

NDVI	Bacia Braço do Bau			
RAPIDEYE (NDVI)	Média	Desv.Padrão	Máx	Mín
2009	0,78	0,16	0,97	-0,26
2010	0,72	0,17	0,97	-0,16
2011	0,78	0,14	1,00	-0,29
2012	0,78	0,14	1,00	-0,29
2013	0,82	0,13	0,98	-0,23
2014	0,84	0,14	1,00	-0,30
2015	0,80	0,15	0,99	-0,54
2016	0,77	0,15	1,00	-0,29
2017	0,81	0,12	0,96	-0,24
2018	0,78	0,14	1,00	-0,65
2019	0,81	0,12	1,00	-0,38
	Bacia Ribeirão do Arraial			
	Média	Desv.Padrão	Máx	Mín
2009	0,79	0,14	1,00	-0,34
2010	0,75	0,14	0,95	-0,27
2011	0,79	0,13	0,97	-0,43
2012	0,79	0,13	0,97	-0,43
2013	0,83	0,09	1,00	-0,27
2014	0,85	0,13	1,00	-0,44
2015	0,81	0,15	1,00	-0,43
2016	0,79	0,15	1,00	-0,23
2017	0,83	0,09	1,00	-0,24

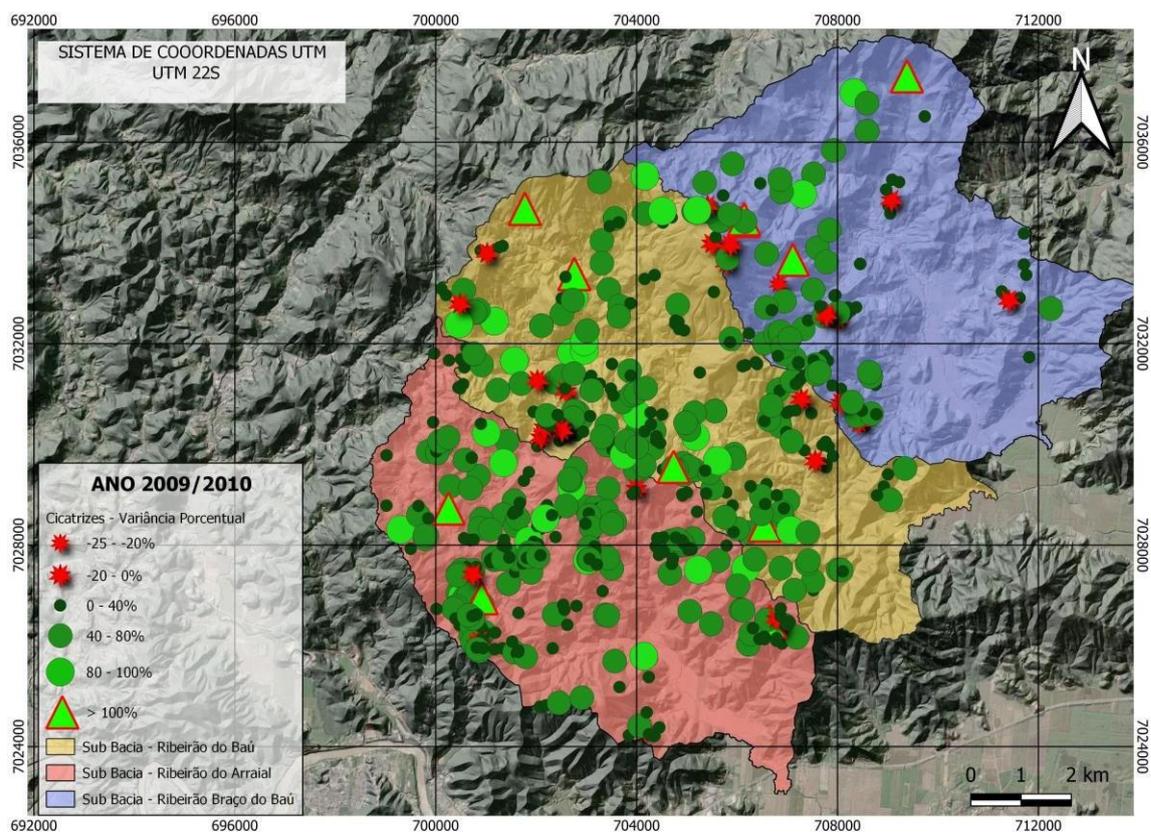
2018	0,79	0,14	1,00	-0,33
2019	0,80	0,12	1,00	-0,22
	Bacia Ribeirao do Bau			
	Média	Desv.Padrão	Máx	Mín
2009	0,81	0,13	1,00	-0,29
2010	0,78	0,11	0,96	-0,05
2011	0,82	0,10	1,00	-0,42
2012	0,82	0,10	1,00	-0,42
2013	0,84	0,10	0,98	-0,29
2014	0,87	0,09	1,00	-0,41
2015	0,84	0,10	1,00	-0,74
2016	0,82	0,10	0,99	-0,32
2017	0,84	0,08	1,00	-0,20
2018	0,81	0,09	1,00	-0,45
2019	0,83	0,08	1,00	-0,49

Fonte: Produzida pelo Autor

6.3 ANÁLISE PORCENTUAL DOS VALORES NDVI DAS CICATRIZES

Para analisar os valores do NDVI das cicatrizes de deslizamentos em cada bacia (Ribeirão do Baú, Ribeirão do Arraial, Braço Morro do Baú), utilizamos como base para implementação, o método descrito pelo autor, Lin, et al., (2005) o VRR (Vegetation Recovery Rate), que consiste em calcular a variação percentual dos valores do NDVI nessas cicatrizes. Esse cálculo nos permite determinar a porcentagem de perda ou ganho de vegetação nas cicatrizes.

Figura 16 - Valor Percentual Cicatrizes NDVI (2009-2010)



Fonte: Produzido pelo autor

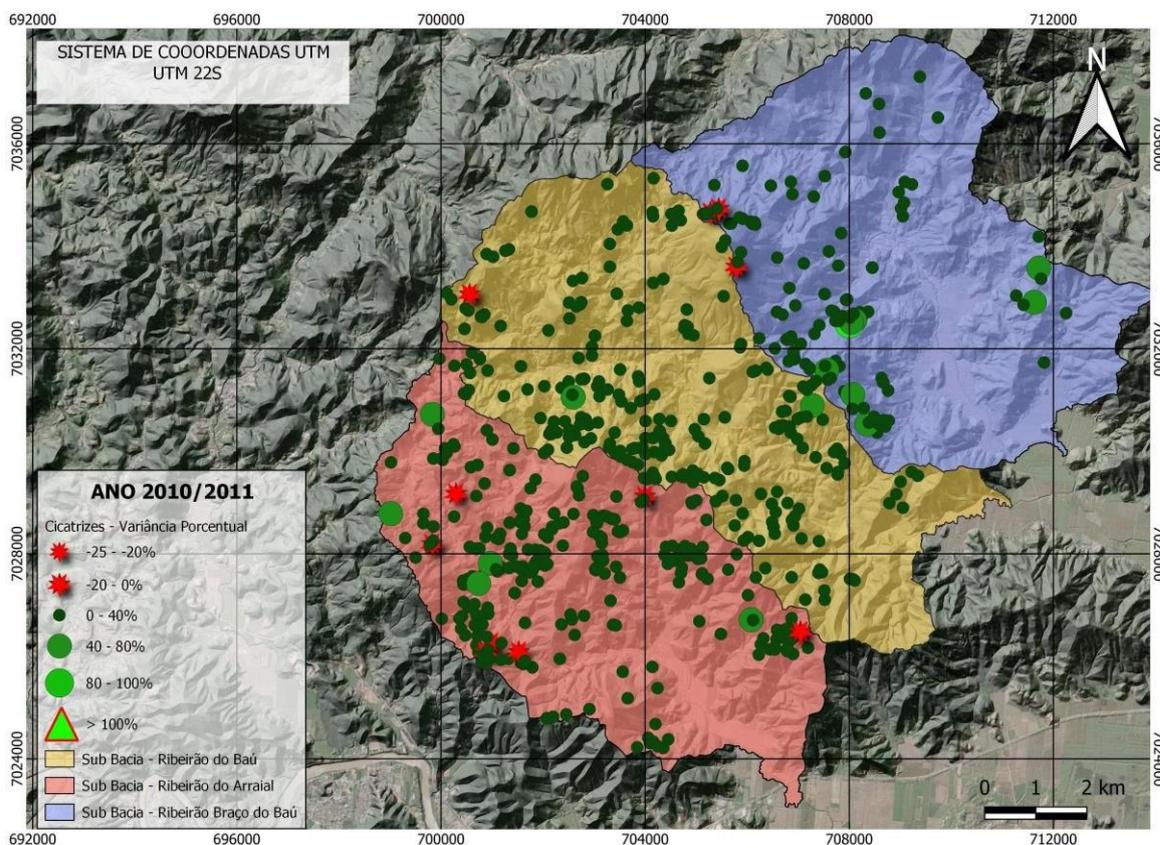
Nos anos de 2009-2010, observou-se o maior aumento percentual das cicatrizes nas três sub-bacias em análise. A maioria das cicatrizes apresentaram um aumento percentual de 80% ou mais, indicando um rápido avanço no processo de revegetação em apenas dois anos após o evento ocorrido.

Na Sub-bacia Ribeirão do Baú, as cicatrizes voltadas para Oeste e Nordeste apresentaram valores percentuais mais elevados, enquanto que na sub-bacia Ribeirão do Arraial as cicatrizes voltadas para Norte tiveram um percentual positivo mais alto, e por fim, na sub-bacia Ribeirão Braço do Baú, as cicatrizes voltadas para Oeste, Este e Norte foram as que tiveram valores percentuais positivos mais altos.

Esses resultados mostram uma correlação positiva com os valores de precipitação, que foram mais elevados nesses anos.

No entanto, algumas das cicatrizes apresentaram valores percentuais menores de vegetação. Notavelmente, essas cicatrizes estavam localizadas em áreas voltadas para o Sul e Sudeste, como ocorreu na Bacia Ribeirão do Arraial, na sub-bacia Ribeirão do Baú as cicatrizes que mais perderam vegetação estavam voltadas para Sudeste, e para a sub-bacia Ribeirão Braço do Baú estavam voltadas para Sudeste, Sudoeste. Essa observação sugere que fatores como a exposição solar podem influenciar na revegetação das cicatrizes.

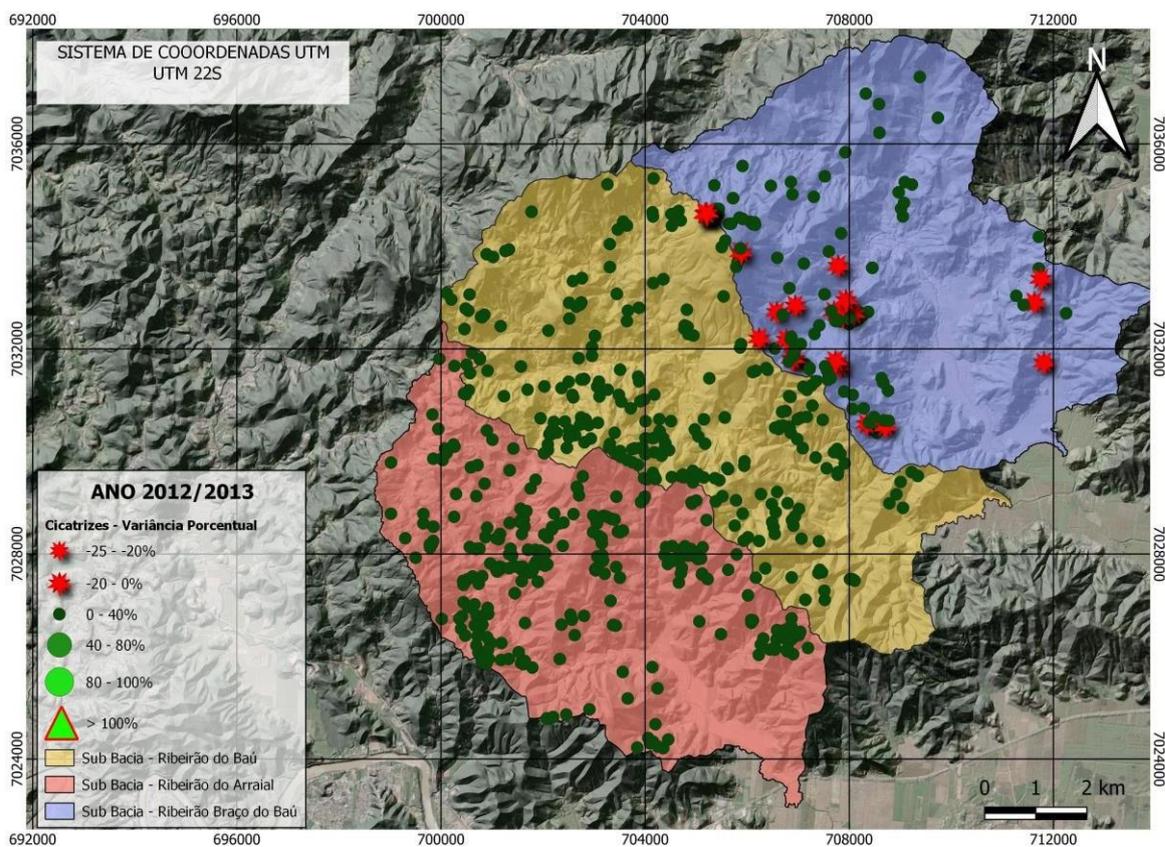
Figura 17 - Valor Porcentual Cicatrizes NDVI (2010-2011)



Fonte: Produzido pelo autor

Nos anos de 2010-2011 todas as sub-bacias apresentaram na sua maioria valores percentuais positivos nas cicatrizes, apenas poucas cicatrizes apresentaram valores negativos, na sub-bacia Ribeirão do Arraial essas cicatrizes estavam orientadas para Norte, Nordeste, Sul, Sudoeste. Enquanto que na sub-bacia Ribeirão do Baú a cicatriz que apresentou valores percentuais negativos está orientada para Norte. E por fim na sub-bacia Ribeirão Braço do Baú as cicatrizes que perderam vegetação estavam voltadas para Norte, Este, e Sudeste.

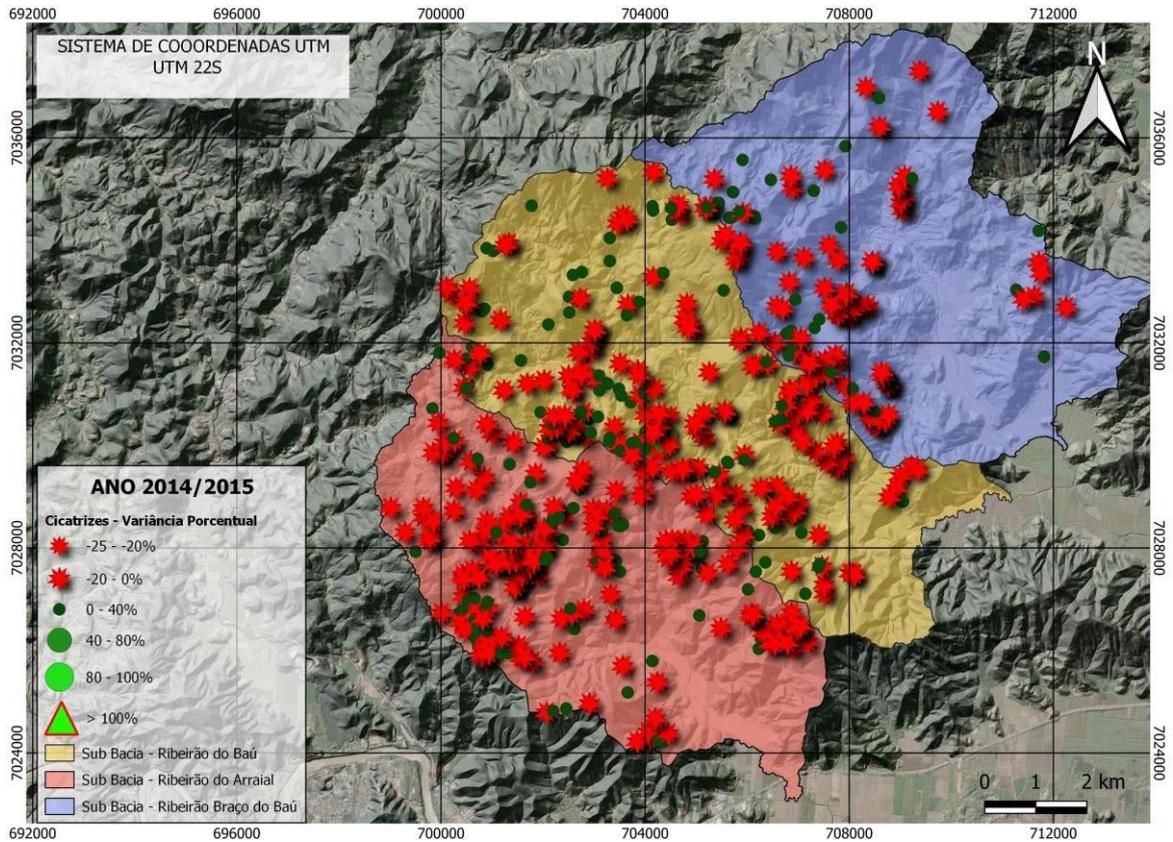
Figura 18 - Valor Porcentual Cicatrizes NDVI (2012-2013)



Fonte: Produzido pelo autor

Nos anos de 2012-2013, ocorre um apenas ganho de vegetação tanto na sub-bacia Ribeirão do Baú como na Ribeirão do Arraial de 0 a 40%, porém, apenas a sub-bacia Braço do Baú apresenta valores percentuais negativos, estas cicatrizes que apresentaram esses valores, a maioria dessas cicatrizes estavam orientadas para Este.

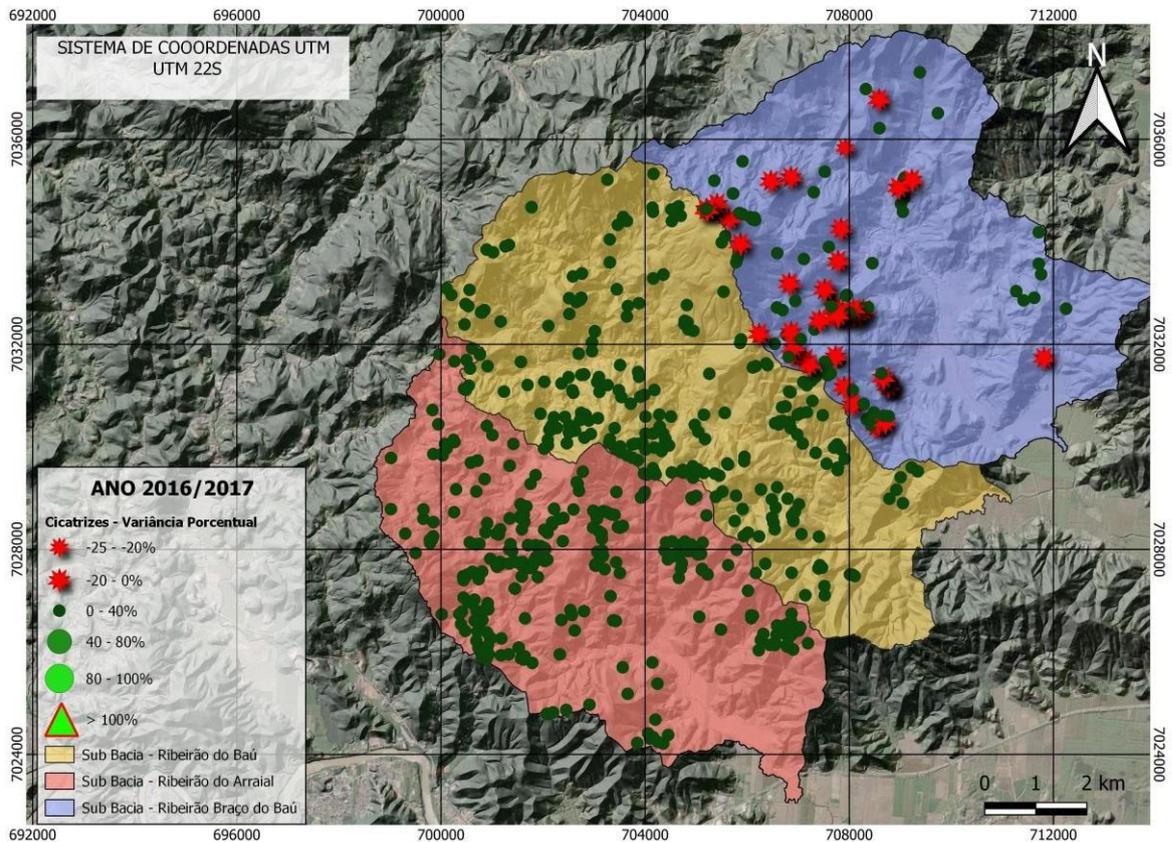
Figura 19 - Valor Porcentual Cicatrizes NDVI (2014-2015)



Fonte: Produzido pelo autor

Nos anos de 2014-2015, todas as sub bacias apresentaram valores percentuais negativos quase em todas as cicatrizes, o motivo é as fortes chuvas que atingiram a região no ano de 2015.

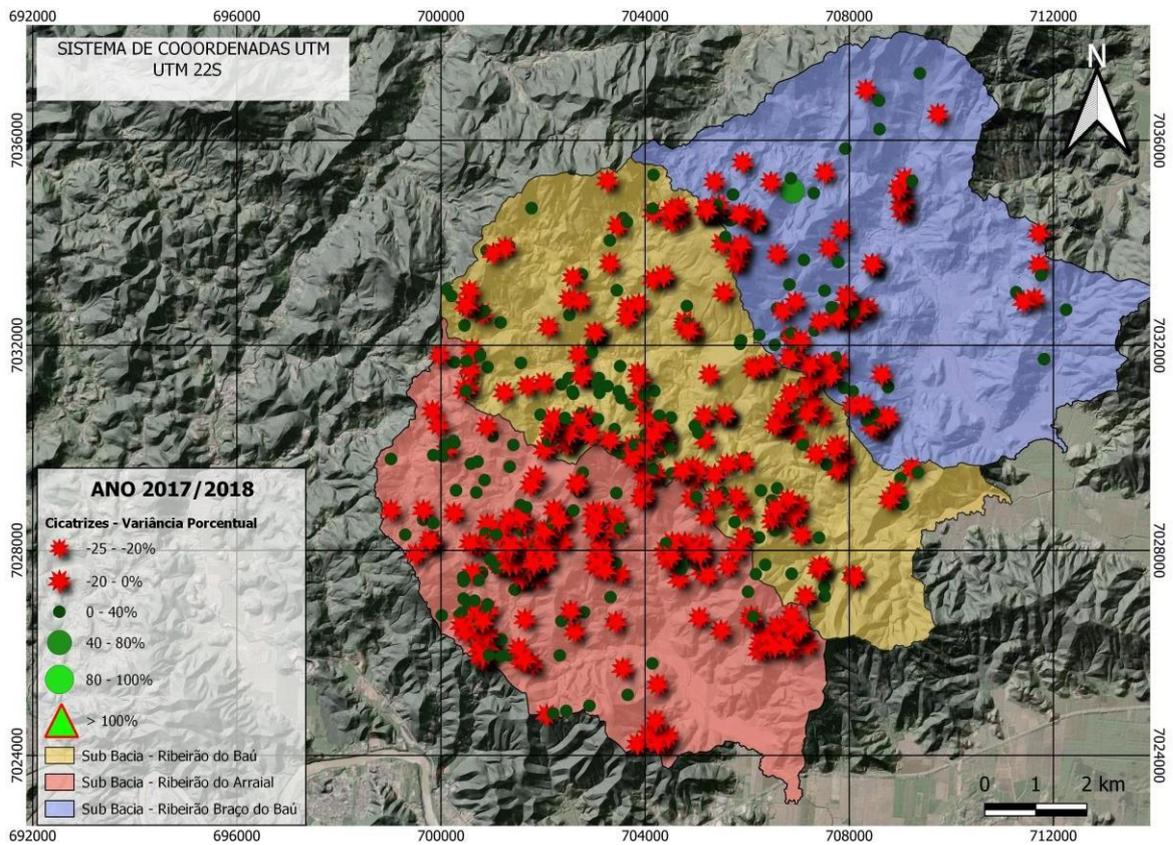
Figura 20 - Valor Porcentual Cicatrizes NDVI (2016-2017)



Fonte: Produzido pelo autor

Após o anterior descrito, as cicatrizes nas três bacias se revegetaram em 2016-2017, porém, novamente a sub-bacia ribeirão do baú foi a única na qual algumas cicatrizes não se revegetaram, as cicatrizes estavam orientadas para o Sudeste, Nordeste, Leste e Norte.

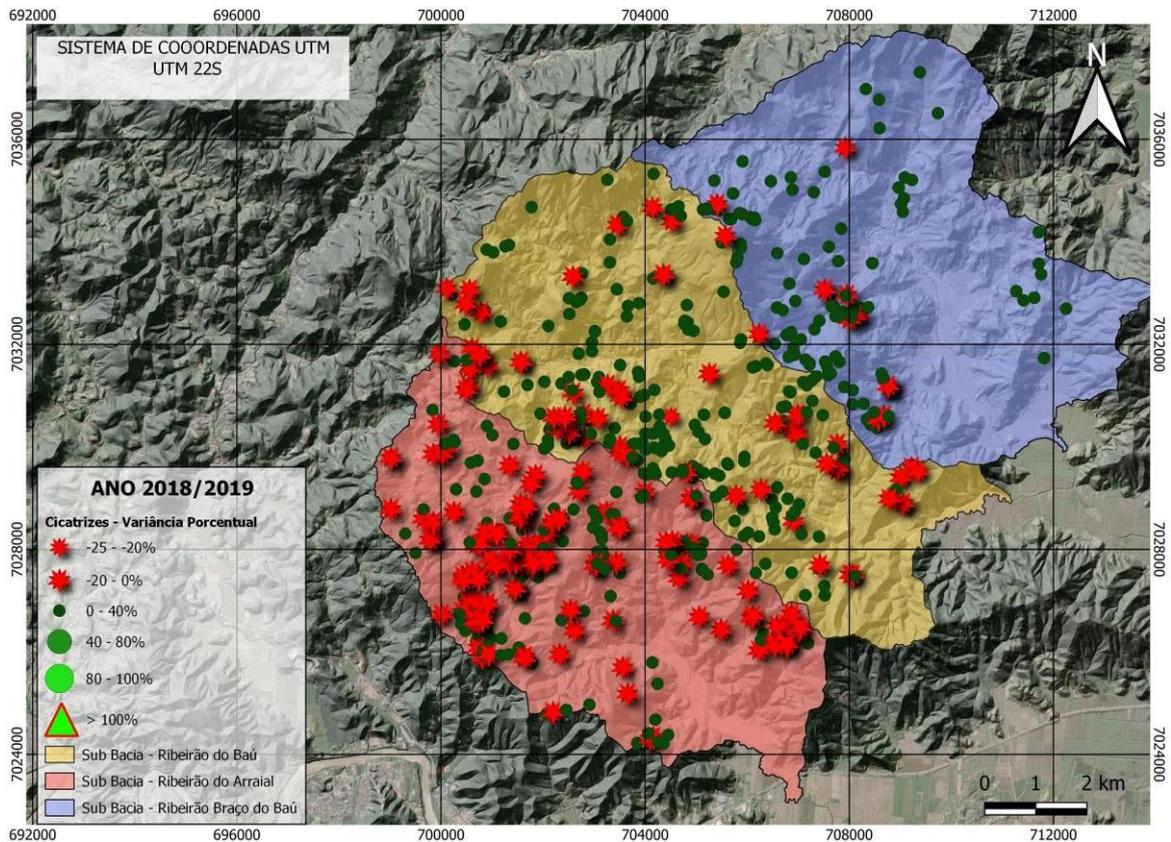
Figura 21 - Valor Porcentual Cicatrizes NDVI (2017-2018)



Fonte: Produzido pelo autor

Posteriormente no ano de 2017-2018, as três sub-bacias perderam vegetação na maioria das cicatrizes novamente, a maioria delas apresentaram valores percentuais negativos, isto, por conta de chuvas no ano de 2017. A Cicatriz que mais revegetou na sub-bacia Braço do Baú estava com orientação para o Norte.

Figura 22 - Valor Porcentual Cicatrizes NDVI (2018-2019)



Fonte: Produzido pelo autor

Por fim, no ano de 2018-2019 as bacias comearam a apresentar valores positivos de revegetação nas cicatrizes, porem, a sub-bacia Ribeirão do Arraial foi a que apresentou menos revegetação das suas cicatrizes da diferença dos dois anos analisados.

Ao longo dos anos de análise percebeu-se a dinâmica na revegetação das cicatrizes, todas as sub-bacias apresentaram uma variação parecida em ganhos e perdas.

Porém, duas das três bacias apresentaram mais perdas e dificuldades de recuperação, a Braço do Baú e a Ribeirão do Arraial perderam, ou, o seu processo de revegetação nas cicatrizes não foi tão simples.

Na sub-bacia Braço do Baú 81% de suas cicatrizes estão em solos Litólicos, ou seja, as cicatrizes por estarem em maior número em solos rasos a probabilidade de deslizamentos em épocas de chuvas são maiores por conta do escoamento superficial nestas cicatrizes.

Tanto quanto a Braço do Baú a Ribeirão do Arraial tem 90% das suas cicatrizes em áreas de solo Litólicos,e, ambas as sub-bacias tem um maior número de cicatrizes voltadas para Leste, por conta dos eventos climáticos que ocorrem na costa do estado de Santa Catarina (Lestadas), ciclones que jogam altas precipitações e ventos na direção Leste. Muitas das cicatrizes voltadas para Norte apresentaram uma revegetação positiva.

6.4 ANÁLISE PIXEL A PIXEL DE REVEGETAÇÃO NAS CICATRIZES

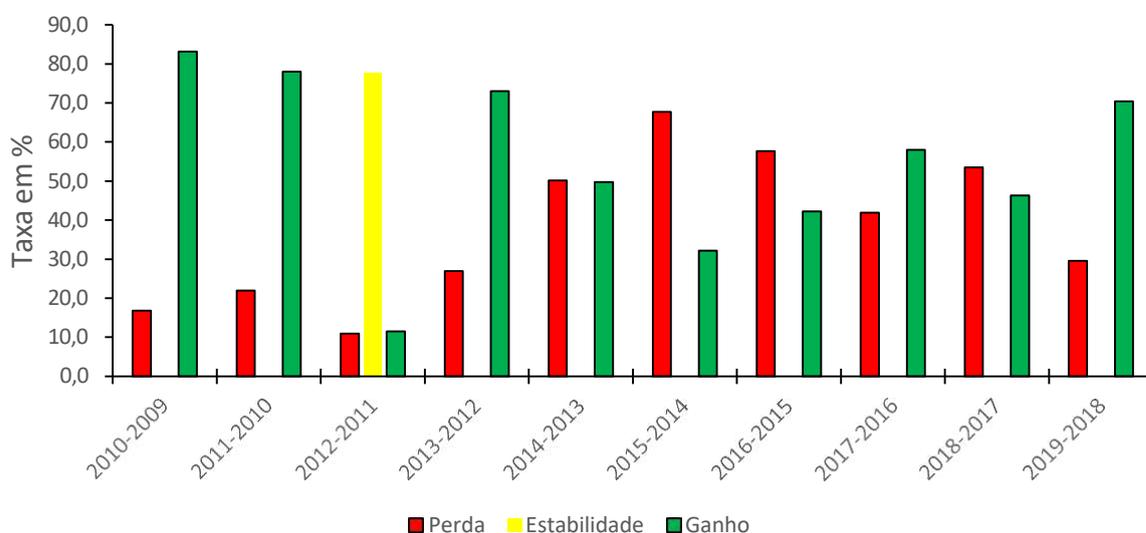
Para ter uma maior precisão de análise quanto á revegetação das cicatrizes foi utilizado uma análise pixel a pixel, ou seja, através dos valores médios do NDVI para cada cicatriz de cada bacia.

6.4.1 SUB-BACIA BRAÇO DO BAÚ

As classes demonstradas em área (%) exibem que pós evento mais de 80% dos pixels das cicatrizes na sub bacia Braço do Baú, se alteraram para um ganho de vegetação, algumas delas perderam a vegetação, em torno de 10%. Na sub bacia em análise, assim como as outras, e como já anteriormente mencionado o ano de 2012-2011 foram anos que não demonstraram grandes diferenças nos valores do NDVI, portanto, demonstrando aqui uma estabilidade de suas vegetações nas cicatrizes. E, a diferença dos pixels de 2014-2013 demonstra também um “equilíbrio” nas áreas de perda e ganho de vegetação, em torno de uma diferença de 50% na classe de perda e 50% na de ganho.

Após o ano de 2013 até 2015 houve uma perda significativa da vegetação nas cicatrizes, de 27% para 68% dos pixels. Relembrando que o ano de 2015 a precipitação na região foi acentuada. De 2015 adiante as cicatrizes na sub bacia foram ganhando vegetação, de 32%, para no final, em 2019-2018 obter uma diferença dos pixels de 70%.

Figura 23 - Análise de Pixel – Braço do Baú (Taxa de Revegetação)



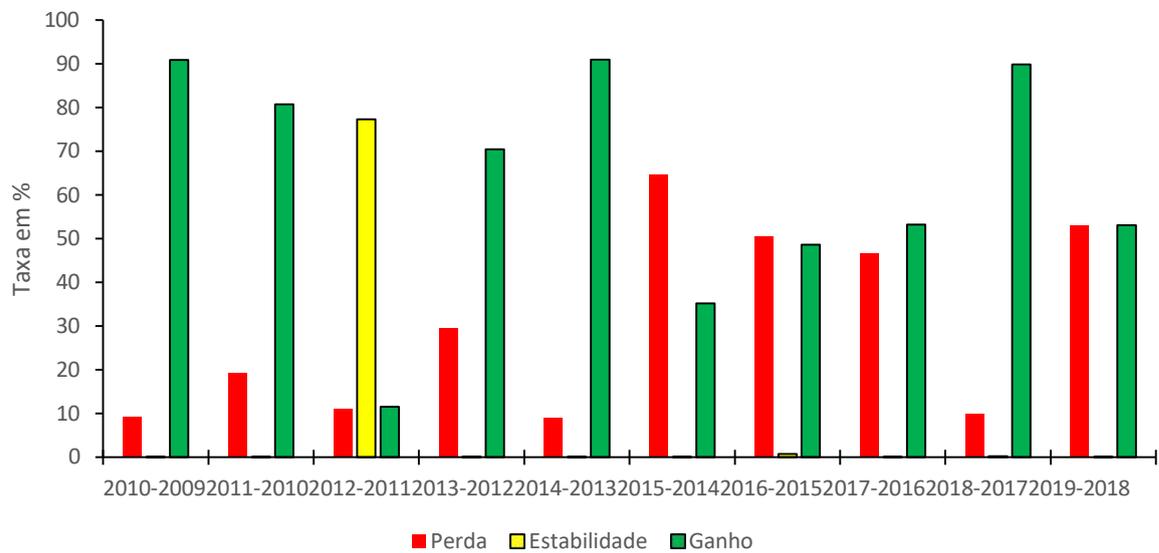
Fonte: Produzido pelo autor

6.4.2 SUB-BACIA RIBEIRÃO DO ARRAIAL

Nesta sub bacia Ribeirão do Arraial até 2014-2013 a diferença nas áreas de pixels para cada classe foi bem próxima à sub bacia Braço do Baú, porém, a diferença destes anos mostrou que ocorreu uma diferença de 90% dos pixels das cicatrizes da bacia aumentaram seus valores de NDVI, ou seja, seus níveis de revegetação aumentaram. Após este ano as cicatrizes na sub bacia perderam área de vegetação até 2016-2015, as mudanças das áreas foram de 64% da Classe 0 para 50%.

Em 2017-2016 á uma alternância predominante de classes, a Classe 2 aumentou para 53%, e em 2018-2017 o total na mudança das áreas das cicatrizes da bacia foram para 89%. E nos dois últimos anos de análise á área das cicatrizes com a Classe (Perda) aumentou e a Classe (Ganho) diminuiu, trazendo assim uma perda da vegetação das cicatrizes.

Figura 24 - Análise de Pixel – Ribeirão do Arraial (Taxa de Revegetação)

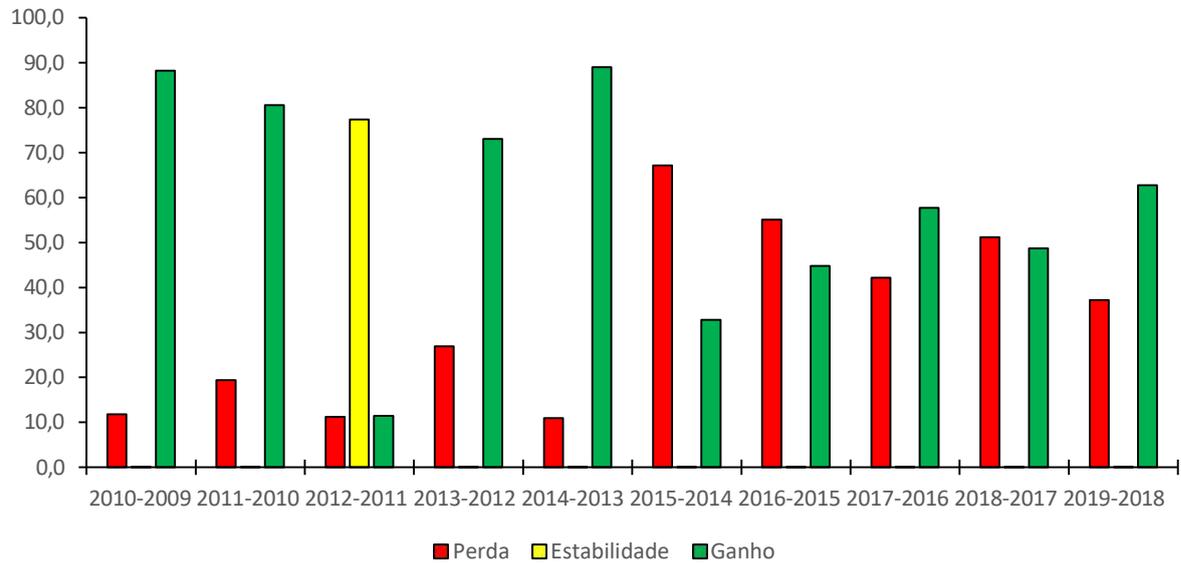


Fonte: Produzido pelo autor

6.4.3 SUB-BACIA RIBEIRÃO DO BÁU

Na sub bacia em análise a única diferença fora do “padrão” de revegetação são nos quatro últimos anos de análise, em que 2018-2017 as cicatrizes perdem área de vegetação, mas em 2019-2018, ocorre novamente um aumento de vegetação nas áreas das cicatrizes de 48% para 62% da Classe 2, e Classe 0 de 50% para 37%.

Figura 25 - Análise de Pixel – Ribeirão do Baú (Taxa de Revegetação)



Fonte: Produzido pelo autor

Portanto, a sub bacia Braço do Baú inicialmente, mais de 80% dos pixels das cicatrizes na bacia mostraram um aumento na vegetação após um evento específico. No entanto, cerca de 10% dos pixels se alteraram, ou seja, perderam vegetação.

Ao longo dos anos 2011 a 2012, assim como em anos anteriores, não houve grandes variações nos valores do NDVI, o que indica estabilidade na vegetação nas cicatrizes.

Em contraste, a diferença entre os anos 2013 e 2014 revela um equilíbrio entre perda e ganho de vegetação, com cerca de 50% para cada classe.

A partir de 2013 até 2015, houve uma significativa perda de vegetação, passando de 27% para 68% dos pixels afetados. Isso coincidiu com um período de precipitação intensa na região.

No entanto, a partir de 2015 em diante, as cicatrizes na sub-bacia começaram a recuperar a vegetação, passando de 32% de ganho inicialmente para uma diferença de 70% nos pixels em 2018-2019.

Isso sugere uma melhoria significativa na cobertura vegetal ao longo desse período.

A Ribeirão do Arraial, até 2014-2013, as diferenças nas áreas de pixels para cada classe eram semelhantes à sub-bacia Braço do Baú.

No entanto, a diferença nesses anos indicou um aumento de 90% nos pixels das cicatrizes da bacia, o que significa que houve um aumento significativo nos níveis de revegetação.

Após esse ano, as cicatrizes na sub-bacia perderam área de vegetação até 2016-2015, com mudanças nos pixels passando de 64% na Classe 0 para 50%.

Em 2017-2016, houve uma predominância de alternância de classes, com a Classe 2 aumentando para 53%.

Em 2018-2017, ocorreu uma mudança significativa, afetando 89% das áreas das cicatrizes da bacia.

Nos dois últimos anos da análise, a área das cicatrizes com a Classe 0 aumentou, enquanto a Classe 2 diminuiu, resultando em uma perda de vegetação nas cicatrizes.

E por último a sub bacia Ribeirão do Baú, a tendência geral é de revegetação, mas a única diferença notável ocorre nos últimos quatro anos.

Em 2018-2017, houve uma perda de área de vegetação nas cicatrizes. No entanto, em 2019-2018, houve um aumento notável na vegetação, com a Classe 2 passando de 48% para 62% e a Classe 0 diminuindo de 50% para 37%.

6.5 REDEFININDO A CRONOLOGIA DA ANÁLISE PIXEL A PIXEL DE 2009 A 2019

6.5.1 ANÁLISE DAS TRÊS BACIAS

Se a análise for realizada comparando sempre com o ano inicial, teremos um resultado diferente, mostrando como as cicatrizes aumentam sua revegetação ao longo dos anos, e conforme esse tempo vai passando elas entram em uma estabilidade na revegetação. Esta análise, assim como as outras, também demonstra que a Bacia Braço do Baú foi a que mais perdeu vegetação ao longo dos anos, e a que demorou mais para entrar em uma estabilidade, por conta da declividade do local, e da orientação das cicatrizes (E;SE), porém, todas as bacias apresentam um padrão na revegetação ao longo dos anos de análise.

Figura 26 - Análise de Pixel – Todas as Bacias (Taxa de Revegetação)



Fonte: Produzido pelo autor

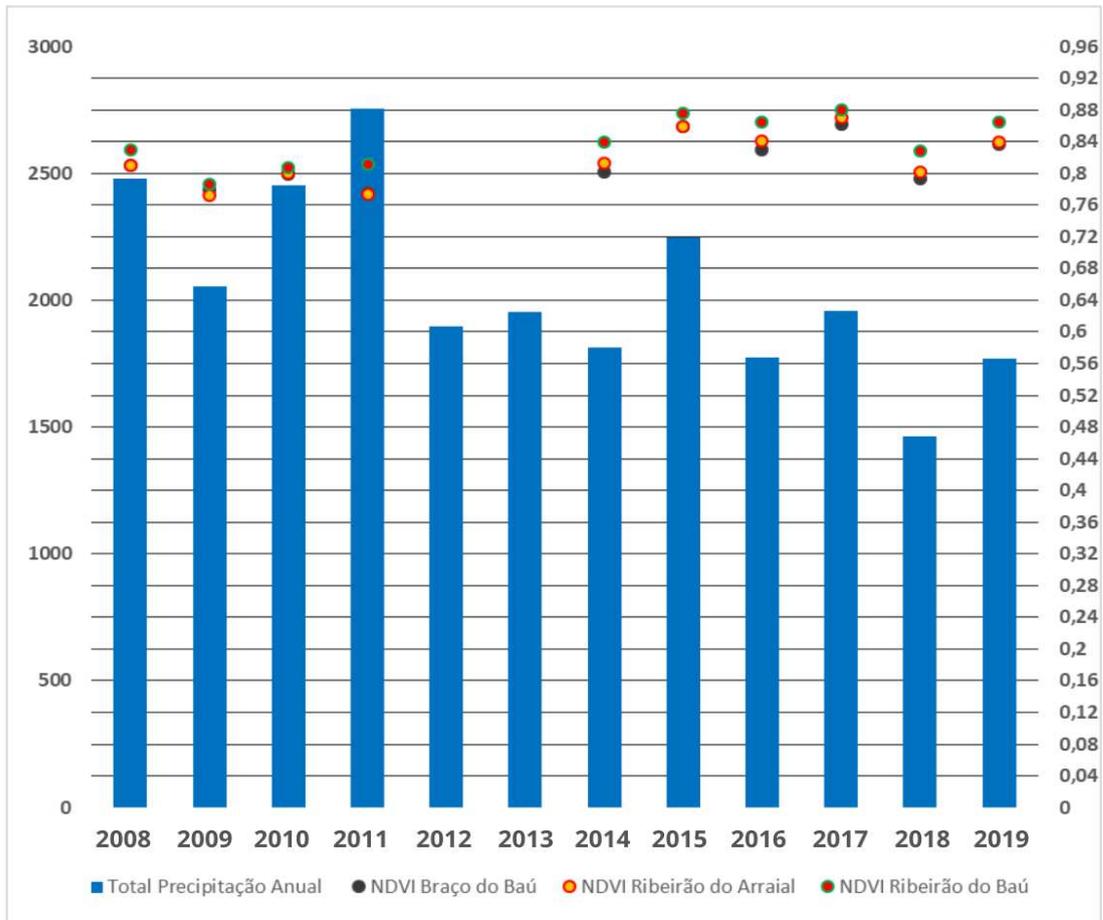
6.6 PRECIPITAÇÃO E VALORES NDVI

Foram escolhidos e utilizados os valores totais mensais da precipitação durante os anos 2008-2019 da estação Pomerode (Código - 02649002), uma média anual foi calculada a partir desses valores totais mensais.

É possível observar pelos gráficos abaixo comparando-os que os valores de média da precipitação relacionados com os valores de média obtidos do NDVI tanto do Landsat quanto do Rapideye.

Para as análises realizadas com o Landsat, iniciadas no ano de 2008, a precipitação total anual foi de 2500 mm, após o evento no ano de 2009 para 2010 ocorreu um aumento da precipitação, consequentemente aumentando os valores do NDVI demonstrando uma revegetação da sub bacia no geral. De 2010 para 2011 continuou apresentando um aumento da precipitação (valores maiores que pré evento), chegando a 2753 mm, o que conforme os desempenhos dos valores do NDVI demonstram novamente uma perda da vegetação na bacia. O Ano de 2012 foi o ano que até 2019 a precipitação foi mais baixa que pré 2011, ao longo de 2012 e 2019 o valor mais alto, foi em torno de 2750 mm no ano de 2011, o que demonstrou também nas três sub-bacias um aumento dos valores do NDVI nesse ano. Em 2017 a precipitação aumentou e chegou nos valores de 1800 mm, apresentando uma queda da precipitação em 2018 com 1464 mm, o que levou também a uma queda dos valores do NDVI nas três sub bacias. Por fim, em 2019 a precipitação aumentou para 1770 mm e consequentemente ocorreu um aumento também o NDVI.

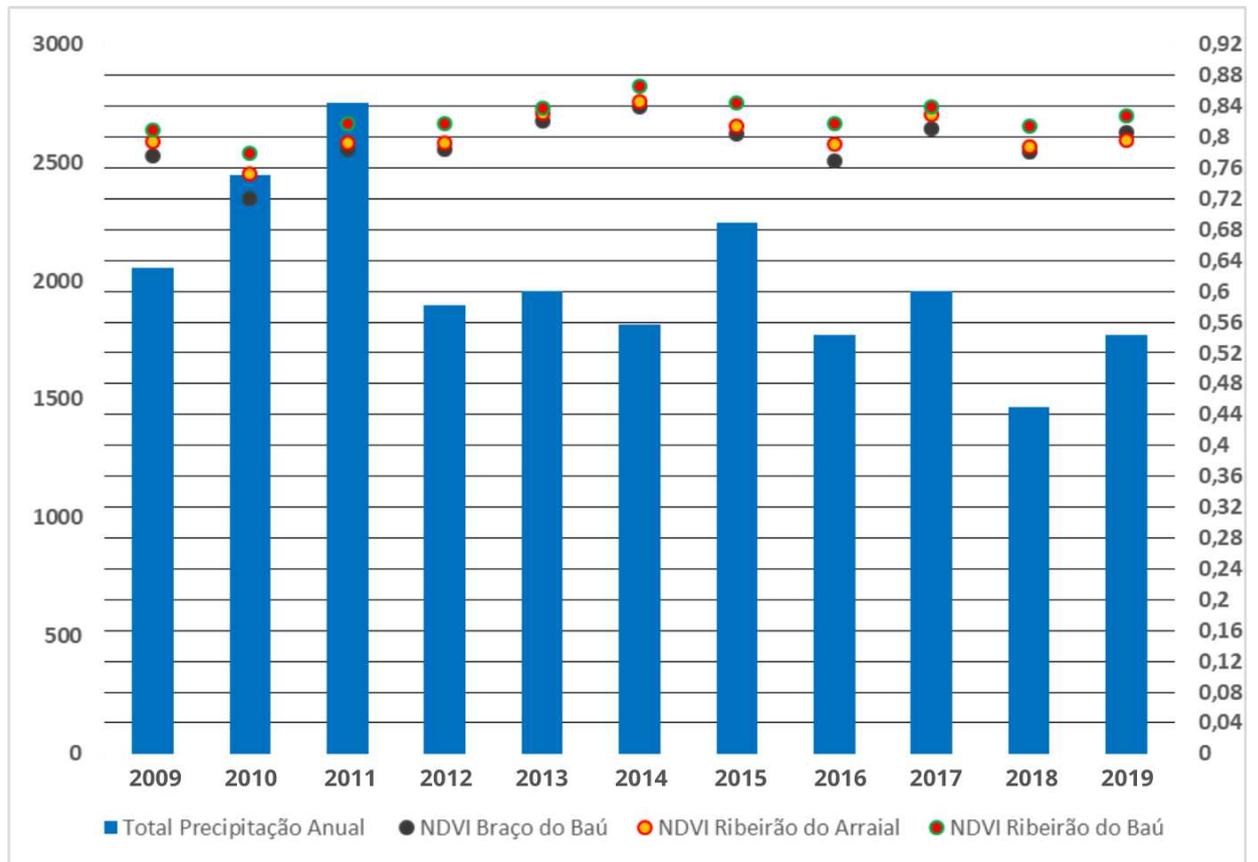
Figura 27 - Precipitação/NDVI - Landsat



Fonte: Produzido pelo autor

Já para o Rapideye os valores de média de precipitação e do índice de vegetação têm uma melhor relação, ainda mais clara nos últimos anos da análise. Como é possível observar na Figura 28 abaixo.

Figura 28 - Precipitação/NDVI - Rapideye



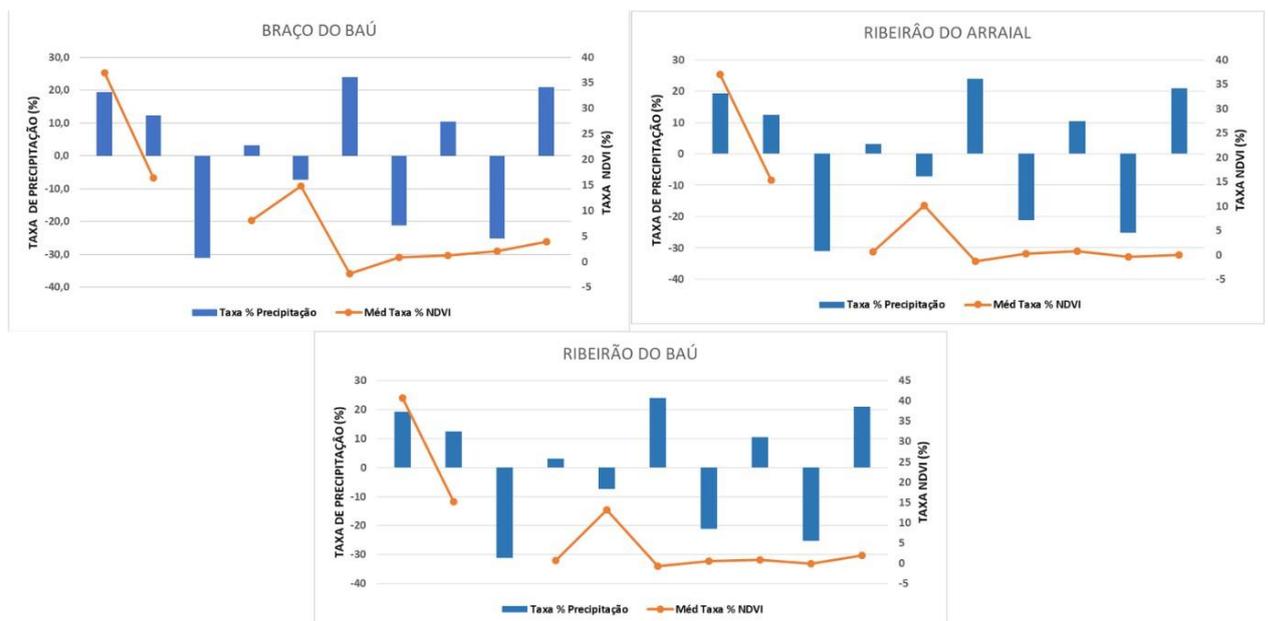
Fonte: Produzido pelo autor

Pelos gráficos apresentados, os valores do NDVI das Sub-bacias estão em ciclos de perda e ganho, o que demonstra que existe uma dinâmica nas bacias, não só por ações antrópicas, mas também por conta da precipitação. O Rapideye apresentou menos variações nos valores do NDVI, enquanto o Landsat demonstrou uma variação muito maior nos valores, por conta de valores mais baixos obtidos em áreas de agricultura.

6.7 ANÁLISE DA TAXA DE REVEGETAÇÃO DAS CICATRIZES E TAXA DE PRECIPITAÇÃO

Para compreender melhor a relação precipitação/revegetação, foi realizada uma comparação da Taxa de precipitação com a Taxa de revegetação (valores NDVI) das cicatrizes. Assim, é possível perceber que as três bacias apresentam uma dinâmica parecida na questão de nível de revegetação, após um certo período de tempo (2014-2015) as taxas de revegetação do NDVI apresentam uma estabilidade, independentemente da inconsistência da precipitação. O que demonstra que existe uma importância da precipitação nos valores da revegetação, porém, não isoladamente, a revegetação depende de outros fatores.

Figura 29 - Taxa de Precipitação/Taxa de NDVI

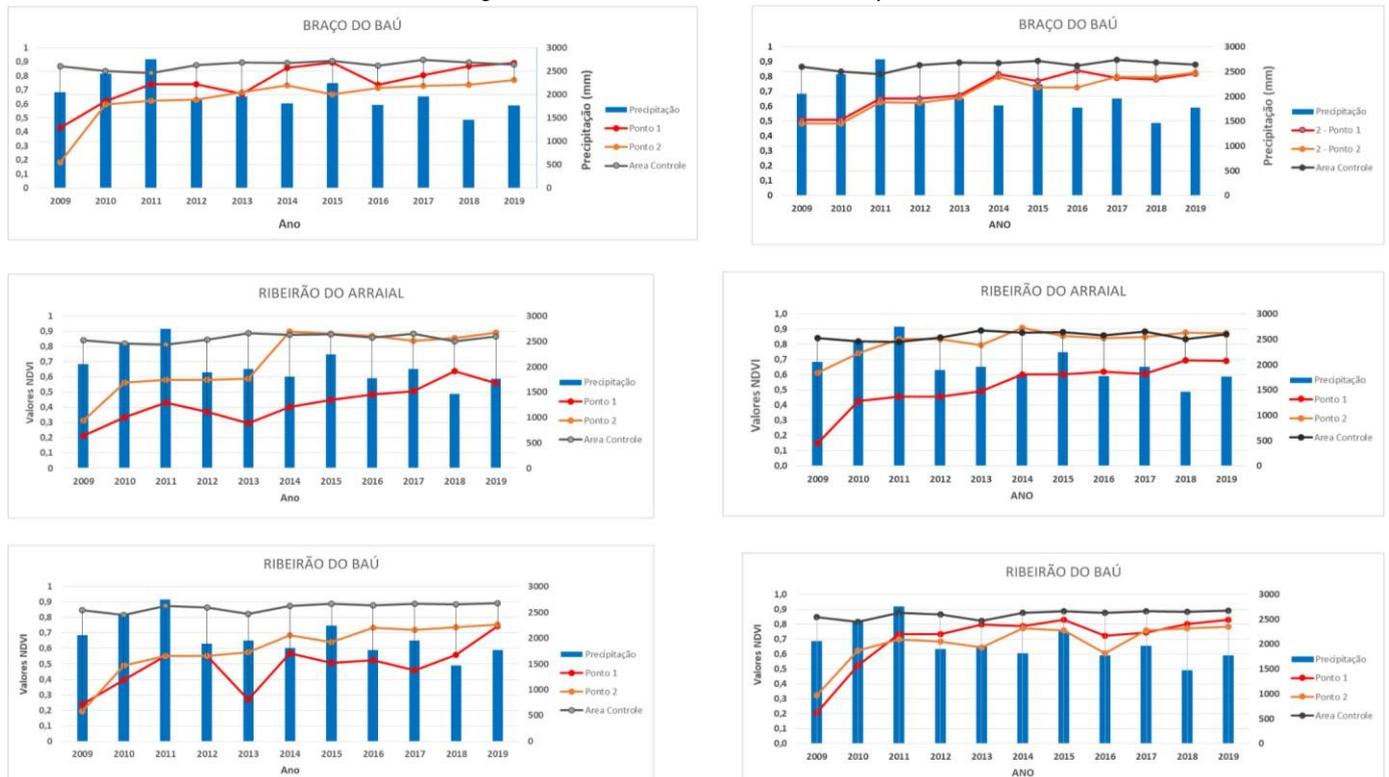


Fonte: Produzido pelo autor

A Figura 30 apresenta uma correlação entre a revegetação e a precipitação. Os pontos “1” são pontos nas cabeceiras das cicatrizes enquanto que os pontos “2” são pontos colocados na deposição. Os valores do NDVI destes pontos foram comparados com uma área de floresta não alterada ao longo do tempo de análise, como é possível observar pela pouca variação do NDVI. Observa-se que, geralmente,

o ponto 2 (jusante das cicatrizes/áreas de deposição) exibe uma revegetação mais rápida. Isso se deve à presença de mais matéria orgânica e material próximo, facilitando a dispersão de sementes e o início dos estágios de desenvolvimento das espécies vegetais. Por outro lado, a montante (Ponto 1) mostra, em algumas cicatrizes, um aumento de cobertura vegetal ao longo dos anos mais acentuado do que no Ponto 2. Ao final da análise, os níveis de NDVI nas cicatrizes revelaram valores significativamente mais elevados do que no início do estudo, equiparando-se aos valores da área externa (com vegetação consolidada).

Figura 30 - Análise de Pixel - NDVI por cicatriz



Fonte: Produzido pelo autor

6.8 RELAÇÃO VARIÂNCIA PORCENTUAL (NDVI) E CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

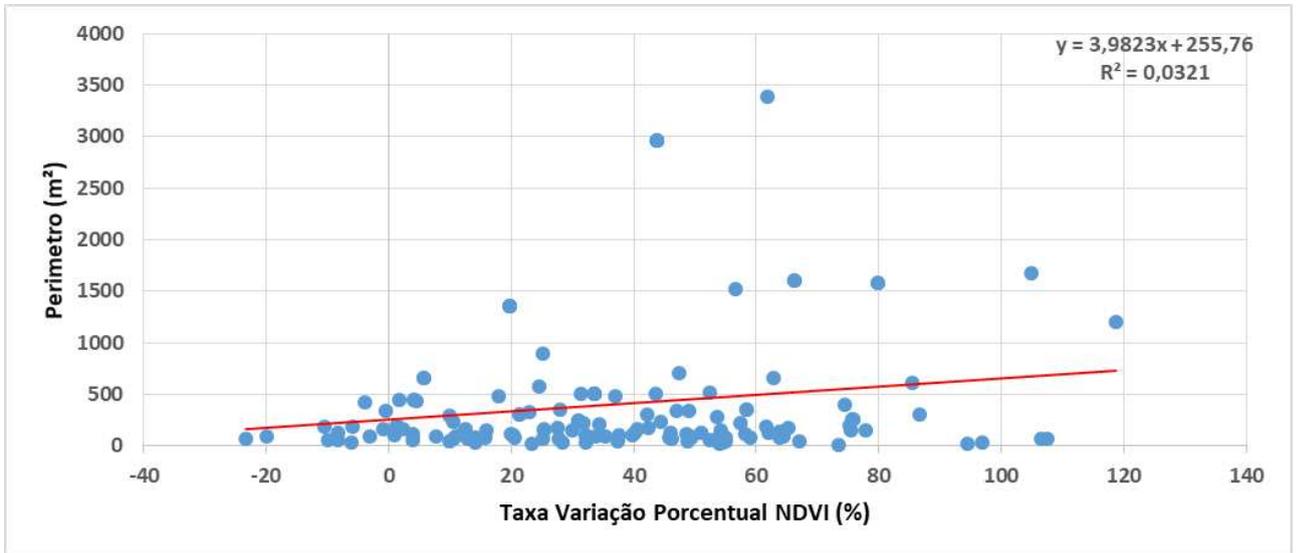
Como último objetivo específico deste estudo, buscaremos relacionar os valores percentuais do NDVI com as características morfométricas previamente descritas. Para isso, utilizaremos gráficos de scatterplot, que são representações visuais das relações entre as variáveis em estudo. Essa análise nos permitirá identificar se existe alguma relação entre essas variáveis.

Um scatterplot é um tipo de gráfico que representa pontos no plano cartesiano, onde cada ponto corresponde a uma combinação de valores de duas variáveis. A posição dos pontos no gráfico nos permite visualizar a relação entre essas variáveis, se existe algum padrão ou tendência. Isso nos auxiliará na compreensão da possível relação entre os valores percentuais do NDVI e as características morfométricas analisadas.

Dessa forma, por meio dos scatterplots, poderemos investigar se há uma associação entre as variáveis em estudo, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada da relação entre o NDVI e as características morfométricas.

6.8.1 RELAÇÃO SUB-BACIA BRAÇO DO BAÚ

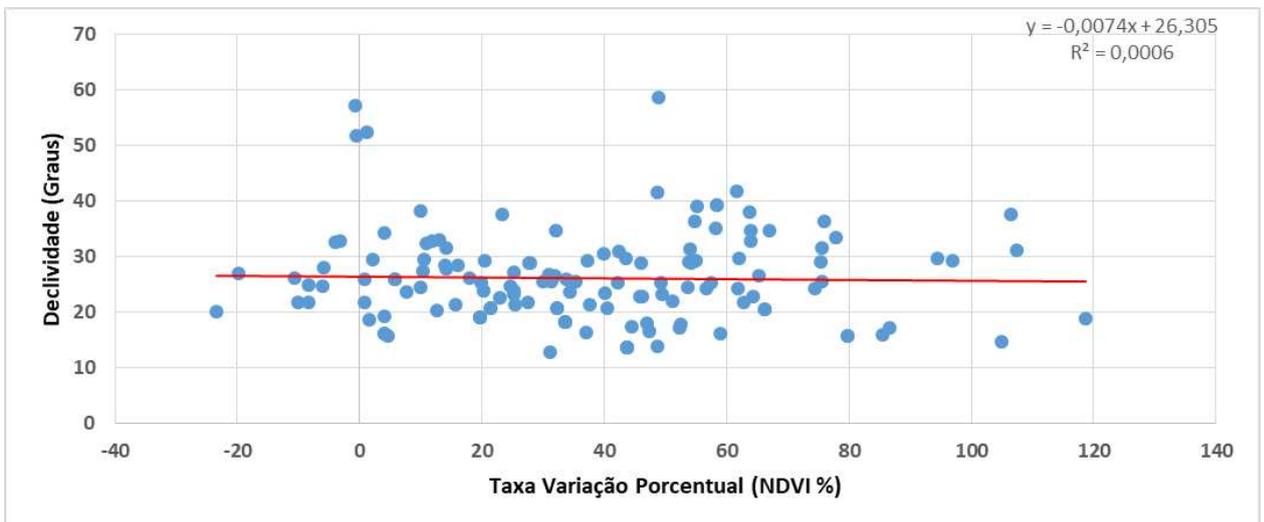
Como é possível perceber no seguinte gráfico, as cicatrizes na sub-bacia Braço do Baú que ganharam mais vegetação, são cicatrizes que apresentam um comprimento não tão grande. Através da linha de tendência mostra que não existe isoladamente relação alguma do parametro morfometrico com a revegetação.

Gráfico 14: Relação Valor Porcentual NDVI/Perímetro (m²)

Fonte: Produzido pelo autor

Analisando o gráfico 15 abaixo é possível entender que não existe uma relação positiva entre estas duas variáveis, a maioria das cicatrizes que ganharam vegetação estão inseridas em declividades acima de 25° até 30°.

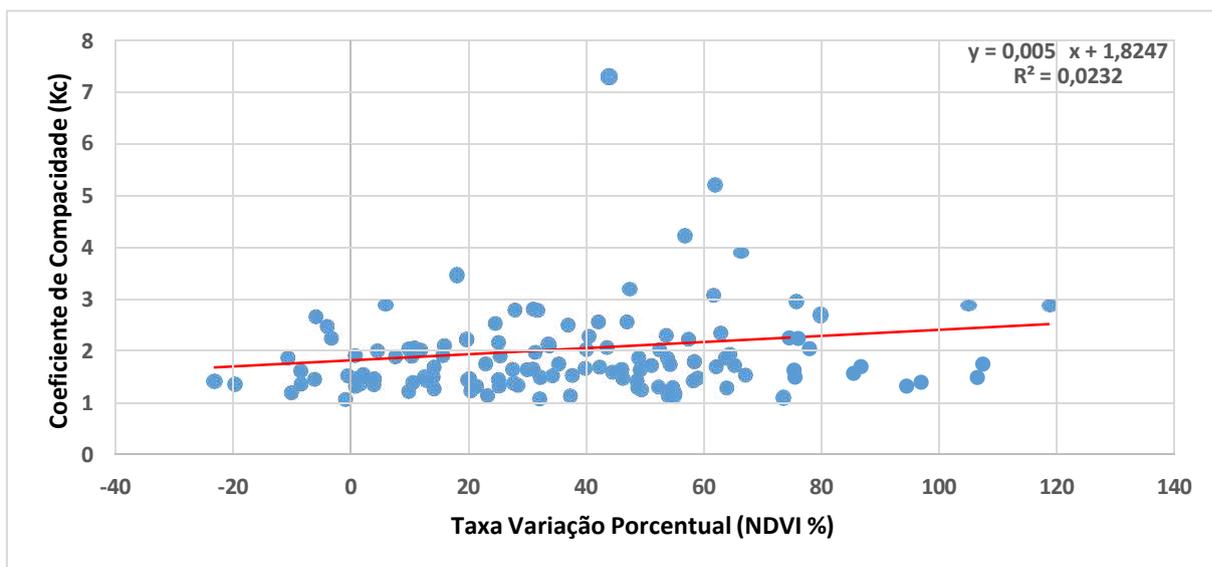
Gráfico 15: Relação Valor Porcentual NDVI/Declividade (°)



Fonte: Produzido pelo autor

O gráfico com a variável KC (Coeficiente de Compacidade) já discutido anteriormente, demonstra que as cicatrizes quanto maior valor de 1 mais alongadas elas são. O gráfico demonstra nenhuma relação entre estas 2 variáveis.

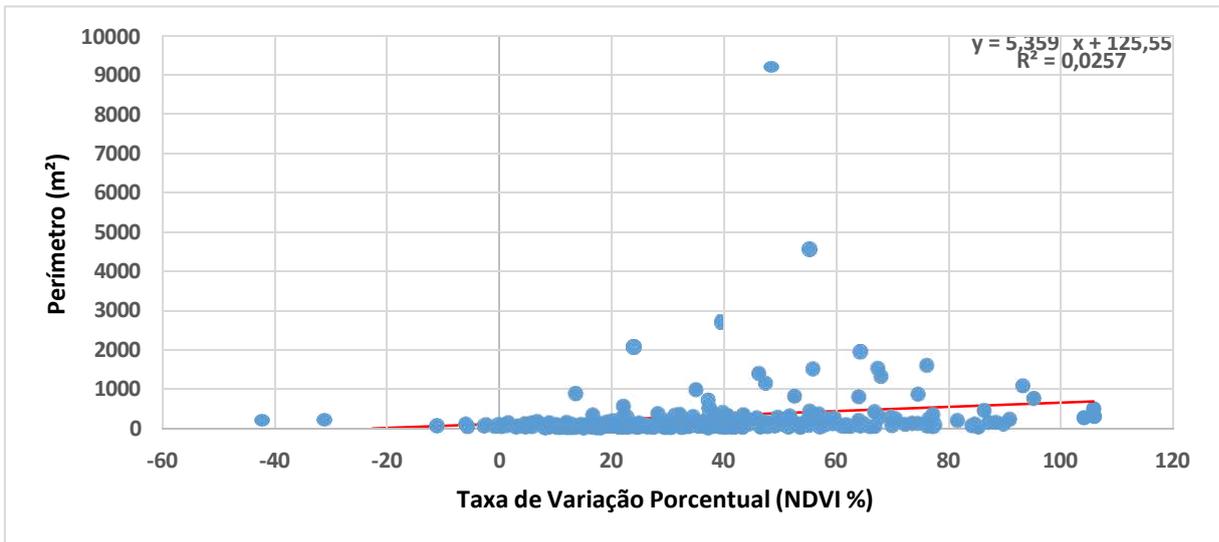
Gráfico 16: Relação Valor Percentual NDVI/KC (%)



Fonte: Produzido pelo autor

6.8.2 RELAÇÃO SUB-BACIA RIBEIRÃO DO ARRAIAL

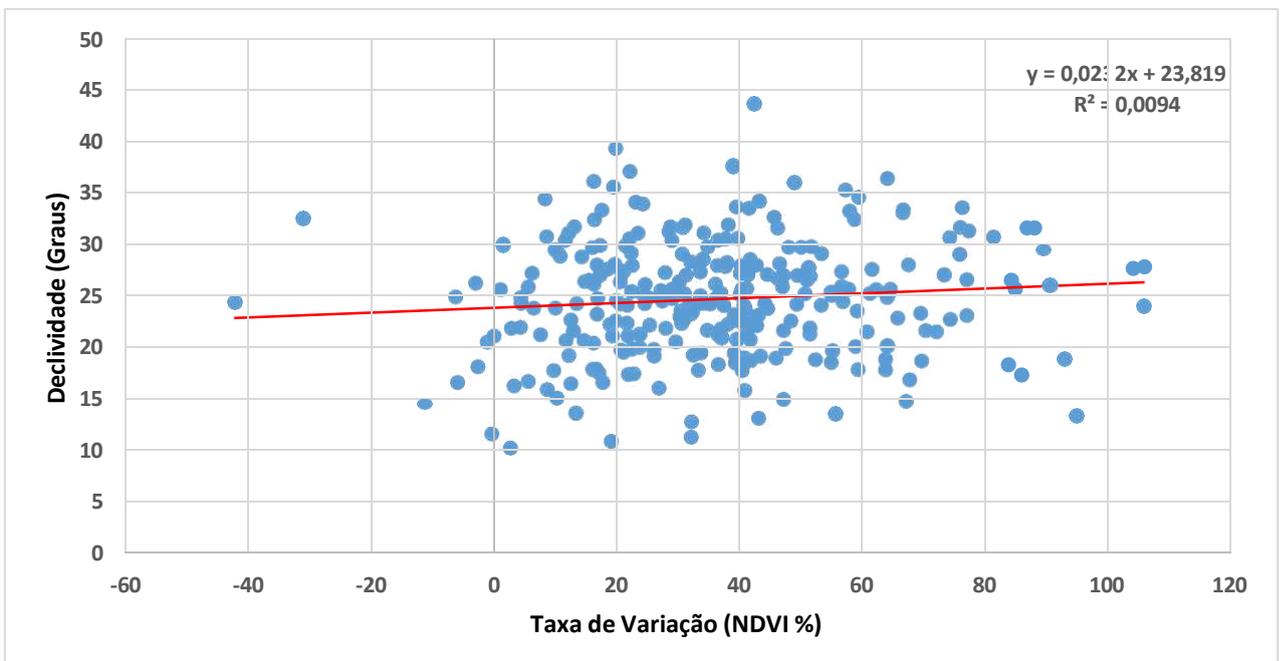
No seguinte gráfico 17, a maioria das cicatrizes na sub-bacia Ribeirão do Arraial ganharam valores percentuais positivos de revegetação em comprimentos menores de cicatrizes. Demonstrando nenhuma relação entre estas variáveis.

Gráfico 17: Relação Valor Porcentual NDVI/Perímetro (m²)

Fonte: Produzido pelo autor

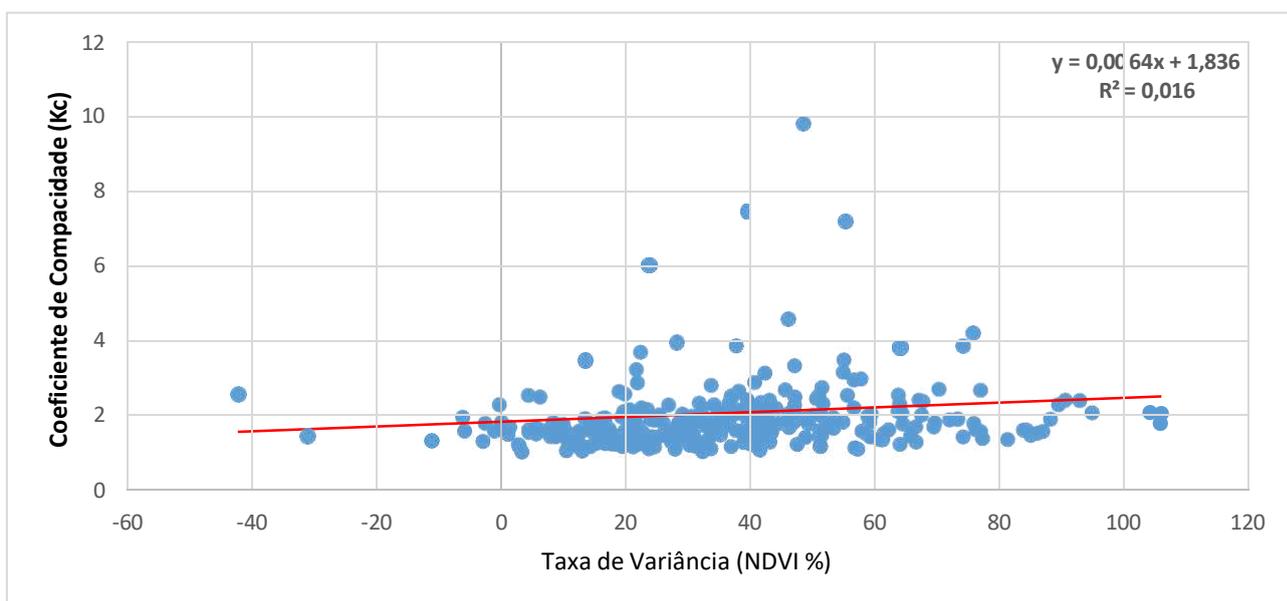
Relacionando com a declividade na sub-bacia as cicatrizes revegetaram mais em torno dos 30% a 40% em declividades com 17% a 25%, mostrando pela linha de tendência uma relação neutra, entre estas duas variáveis.

Gráfico 18: Relação Valor Porcentual NDVI/Declividade (°)



Fonte: Produzido pelo autor

Gráfico 19: Relação Valor Porcentual NDVI/KC

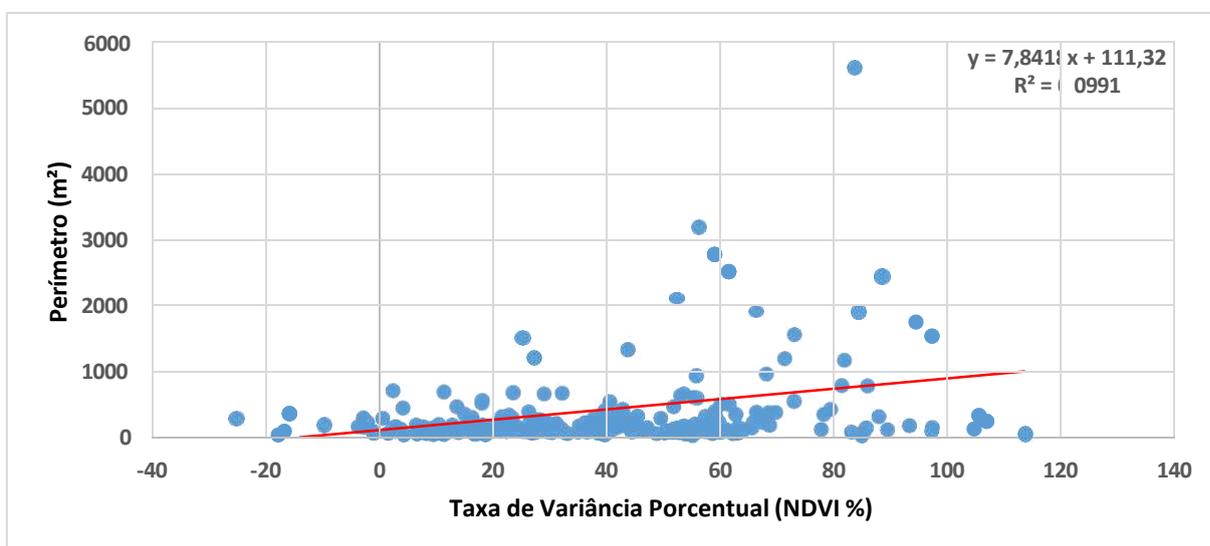


Fonte: Produzido pelo autor

6.8.3 RELAÇÃO SUB-BACIA RIBEIRÃO DO BAÚ

Assim como para as outras bacias, não existe relação individual entre as características morfométricas apresentadas e a revegetação nas cicatrizes.

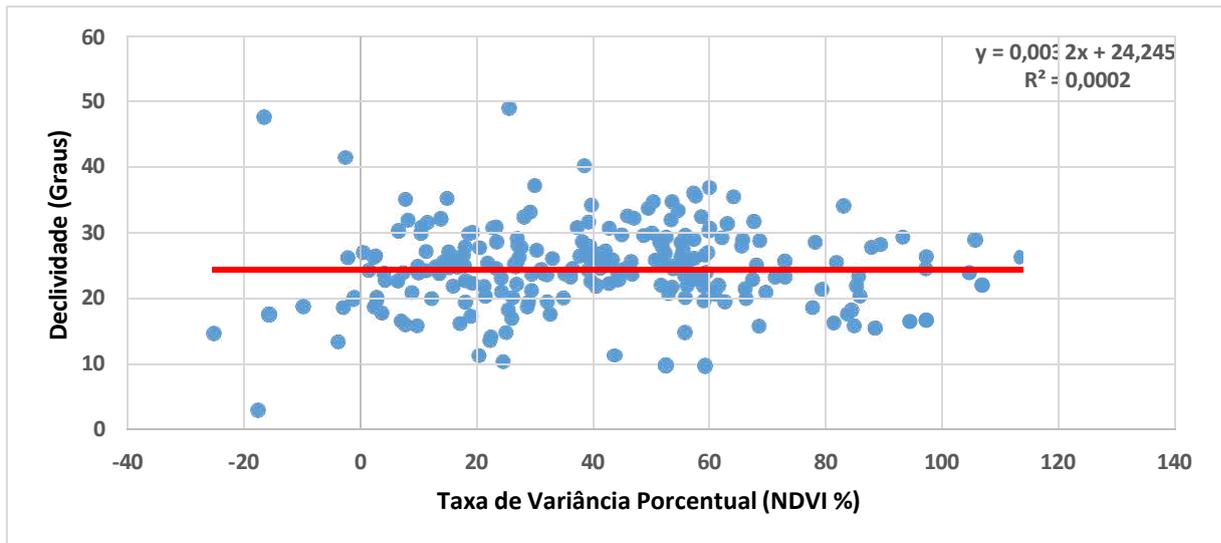
Gráfico 20: Relação Valor Porcentual NDVI/Perímetro (m²)



Fonte: Produzido pelo autor

A maioria das cicatrizes de deslizamentos se encontram em declividades entre 20 e 30 graus, porém, não existe algum tipo de relação entre as duas variáveis apresentadas.

Gráfico 21: Relação Valor Porcentual NDVI/Declividade (°)

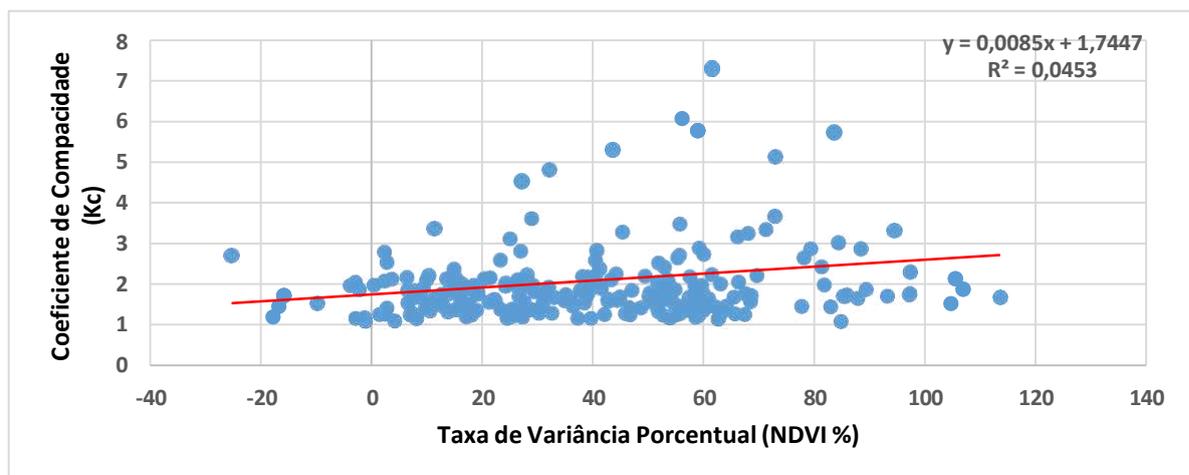


Fonte: Produzido pelo autor

Assim como nas outras bacias, não é possível observar alguma relação entre estes dois parâmetros.

O que não descarta, que nenhum destes parâmetros apresentados e testados sejam essenciais para uma revegetação na cicatriz. Cada processo é essencial para que isso ocorra, porém, isoladamente estes não apresentam uma relação direta.

Gráfico 22: Relação Valor Porcentual NDVI/KC



Fonte: Produzido pelo autor

7 DISCUSSÃO

Com base nos dados apresentados, é possível concluir que a Sub Bacia do Braço do Baú passou por mudanças significativas na vegetação ao longo dos anos de análise. Antes do evento ocorrido em 2009, a bacia apresentava uma vegetação saudável e abundante, com valores mais altos de NDVI. No entanto, após o evento, houve uma perda de vegetação, evidenciada pelos valores mais baixos de NDVI, indicando solo exposto e deslizamentos de terra.

Ao longo dos anos seguintes, foi observado um crescimento gradual da vegetação na sub bacia, com variações nos valores de NDVI. Em alguns anos, ocorreram revegetações significativas, indicando uma recuperação positiva da bacia. No entanto, também foram observadas variações nos valores de NDVI, o que pode estar relacionado a fatores como perda de vegetação nas encostas e mudanças no uso do solo.

No geral, a Sub Bacia do Braço do Baú apresentou uma revegetação significativa após o evento, com valores de NDVI em 2019 superiores aos valores pré-evento.

Essa recuperação positiva indica a importância de medidas de conservação e recuperação da vegetação na bacia hidrográfica.

A resolução do sensor Rapideye utilizado na análise apresentou uma melhor capacidade de detectar variações nos valores de NDVI em comparação ao sensor Landsat. Isso demonstra a importância de utilizar sensores com resolução adequada para análises precisas da vegetação em uma determinada área.

A Micro Bacia Ribeirão do Arraial passou por mudanças na vegetação ao longo dos anos de análise, antes do evento em 2009, a bacia apresentava valores ligeiramente mais altos de NDVI, indicando uma vegetação saudável e abundante. No entanto, após o evento, houve uma redução nos valores de NDVI, evidenciando as cicatrizes dos deslizamentos na bacia.

Nos anos seguintes, foram observadas variações nos valores de NDVI, indicando revegetações e perdas de vegetação na bacia. Em alguns anos, como 2014, ocorreu um aumento significativo do NDVI, indicando uma revegetação expressiva na região. No entanto, em outros anos, como 2018, houve uma queda nos valores de NDVI, indicando uma perda de vegetação na bacia.

Ao analisar os dados do sensor Rapideye, foi observado uma queda no NDVI de 2009 para 2010, seguida de um aumento gradual nos anos subsequentes. No geral, a bacia apresentou um aumento da vegetação ao longo dos anos, com variações nos valores de NDVI.

É importante ressaltar que a resolução do sensor utilizado na análise, seja Landsat ou Rapideye, pode influenciar nos valores do NDVI e na detecção de mudanças na vegetação. No entanto, os dados indicam que a bacia passou por revegetações e perdas de vegetação ao longo dos anos, destacando a importância de medidas de conservação e recuperação da vegetação na região

Em resumo, na Bacia Ribeirão do Bau, houve uma perda de vegetação em 2009 devido a um evento específico, mas a partir de 2010 houve uma revegetação gradual na região. Os anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 foram particularmente positivos, com altos valores de NDVI, indicando uma vegetação saudável. Em 2018, houve uma pequena queda nos valores do NDVI, mas ainda próximo dos valores pré-evento. E em 2019, houve novamente uma demonstração de revegetação local.

Na Bacia Braço do Baú, também foi observada uma estabilidade nos valores de NDVI nos anos de 2011 e 2012. Em 2013, houve um aumento nos valores, indicando um crescimento saudável da vegetação. O ano de 2014 foi especialmente positivo, com valores médios e mínimos de NDVI mais altos, sugerindo uma estabilização e um crescimento saudável da vegetação.

No entanto, em 2016 houve uma queda nos valores, mas a partir desse ano, a bacia apresentou valores mais altos de NDVI, indicando uma estabilização e recuperação da vegetação na região.

Para os anos seguintes o NDVI nas três bacias se apresentou praticamente da mesma maneira, porém com uma variância de valores baixa, demonstrando que até 2019 as sub-bacias foram perdendo e ganhando vegetação.

Focando nas cicatrizes de deslizamentos para as três sub-bacias, as análises dos anos de 2009-2019 revelaram padrões interessantes nas variações percentuais do NDVI nas cicatrizes de deslizamentos nas três sub-bacias em estudo. No período de 2009-2010, foi observado o maior aumento percentual nas cicatrizes, ou seja, uma mudança dos pixels, indicando, um rápido avanço no processo de revegetação em

apenas dois anos após o evento. Essa recuperação vegetal pode ser atribuída, em parte, aos valores mais elevados de precipitação registrados nesses anos.

Ao analisar a orientação espacial das cicatrizes, observou-se que as cicatrizes voltadas para o Oeste, Nordeste e Norte apresentaram valores percentuais mais altos nas sub-bacias Ribeirão do Baú, Ribeirão do Arraial e Braço Morro do Baú, respectivamente. Inversamente, as cicatrizes localizadas em áreas voltadas para o Sul e Sudeste, Leste, Noroeste mostraram perda de vegetação, sugerindo que, as lestadas, e a exposição solar influenciam drasticamente nos processo de revegetação.

Nos anos subsequentes, foram observadas variações nas tendências de revegetação. No período de 2010-2011, a maioria das cicatrizes nas três sub-bacias apresentou valores percentuais positivos, com exceção de algumas cicatrizes voltadas para diferentes direções. No entanto, nos anos de 2012-2013, houve apenas ganho de vegetação nas sub-bacias Ribeirão do Baú e Ribeirão do Arraial, enquanto a sub-bacia Braço Morro do Baú apresentou valores percentuais negativos, principalmente em cicatrizes voltadas para o Leste.

No ano de 2014-2015, todas as sub-bacias registraram valores percentuais negativos na maioria das cicatrizes, mas as razões para essa perda de vegetação não puderam ser conclusivamente determinadas. Em 2016-2017, ocorreu uma recuperação nas cicatrizes nas três sub-bacias, exceto na sub-bacia Ribeirão do Baú, onde algumas cicatrizes não se revegetaram, principalmente aquelas com orientação para o Sudeste, Nordeste e Norte.

No período de 2017-2018, as três sub-bacias apresentaram perda de vegetação na maioria das cicatrizes, sendo que a sub-bacia Braço do Baú teve a cicatriz que mais se revegetou com orientação para o Norte. Finalmente, no ano de 2018-2019, as bacias começaram a apresentar valores positivos de revegetação nas cicatrizes, mas a sub-bacia Ribeirão do Arraial foi a que mostrou menor recuperação nas suas cicatrizes em comparação com a diferença dos dois anos analisados.

A Sub bacia Ribeirão do Arraial está inserida em áreas de geologia sedimentares, o que justifica a dificuldade de revegetação, o ganho e a perda, nos valores das cicatrizes e da bacia ao longo dos anos de análise.

Portanto, assim as bacias e as cicatrizes, apresentam um ciclo de ganho e perda de vegetação ao longo dos 10 anos em análise, ressaltando a complexidade da dinâmica da revegetação em cicatrizes de deslizamentos, através da amostra teste em área externa às cicatrizes é possível perceber que ocorreu uma revegetação

natural dentro das cicatrizes, porém, em dinâmicas diferentes em cada ponto específico das cicatrizes.

8 CONCLUSÃO

Este estudo teve como foco a análise das três bacias hidrográficas, visando a elaboração de um inventário das cicatrizes na região pós o evento de 2008. O objetivo principal consistiu em investigar a revegetação nas áreas afetadas por deslizamentos e correlacioná-las com suas características morfométricas, servindo também, como base para um banco de dados para prevenção de desastres em áreas de risco.

Ao término desta pesquisa, podemos concluir que tanto as Sub Bacias quanto as próprias cicatrizes exibem um padrão no ciclo de revegetação. Destaca-se que a Sub Bacia do Braço do Baú evidenciou uma significativa recuperação vegetal após o evento, com os valores de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em 2019 superando os valores pré-evento.

No decorrer dos primeiros anos, a revegetação apresenta variações, caracterizadas por períodos de perda e ganho, influenciados por diversos fatores. A precipitação desempenha um papel crucial devido ao escoamento superficial nas cicatrizes, e a orientação dessas marcas também exerce impacto nessa dinâmica. A análise espacial revelou que as cicatrizes voltadas para o Oeste, Nordeste e Norte demonstraram percentuais mais elevados nas sub-bacias Ribeirão do Baú, Ribeirão do Arraial e Braço Morro do Baú, respectivamente.

De maneira geral, observamos que, em torno de 5 a 6 anos, as cicatrizes nas bacias atingem um equilíbrio na revegetação.

Como foi apresentado, determinados pontos nas cicatrizes apresentam uma revegetação em velocidades diferentes, o que demonstra uma grande variabilidade de nível de revegetação por determinada área e cicatriz.

Portanto, este trabalho proporciona uma compreensão aprofundada da dinâmica complexa da revegetação nas cicatrizes, contribuindo significativamente para a pesquisa científica e para a elaboração de inventários abrangentes dessas marcas, consolidando uma base de dados completa sobre as características dos deslizamentos ocorridos anteriormente.

REFERÊNCIAS

AKSOY, Beliz; ERCANOGLU, Murat. **Landslide identification and classification by object-based image analysis and fuzzy logic: An example from the Azdavay region (Kastamonu, Turkey).** *Computers & Geosciences*, v. 38, n. 1, p. 87-98, 2012.

ANDRADE, A. P.; MAFRA, A. L.; BALDO, G. R.; PICCOLLA, C. D.; BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; Physical properties of a humic cambisol under tillage and cropping systems after 12 years. *Revista Brasileira Ciência Solo*, Viçosa, v.34, p. 219-226, 2010.

ANTONELI, V; THOMAZ, E.L. **Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR.** *Rev. Caminhos da Geografia*, Uberlândia, v.8, n.21, p46-58, jun. 2007.

ARDIZZONE, F. et al. **Landslide inventory map for the Briga and the Giampilieri catchments, NE Sicily, Italy.** *Journal of Maps*, v. 8, n. 2, p. 176-180, 2012.

ÁVILA, Alvaro et al. **Recent precipitation trends, flash floods and landslides in southern Brazil.** *Environmental Research Letters*, v. 11, n. 11, p. 114029, 2016.

BANCO MUNDIAL. **Santa Catarina: A gestão de riscos de desastres no contexto do planejamento estratégico para o aumento da resiliência a perigos naturais.** O Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento / Associação Internacional para o Desenvolvimento, 2016.

BARBOSA, K. M.do N. **Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Tese de Doutorado, 131 p., 2006.

BEHLING, Robert et al. **Automated spatiotemporal landslide mapping over large areas using rapideye time series data.** *Remote Sensing*, v. 6, n. 9, p. 8026-8055, 2014.

BRARDINONI, Francesco; SLAYMAKER, Olav; HASSAN, Marwan A. **Landslide inventory in a rugged forested watershed: a comparison between air-photo and field survey data.** *Geomorphology*, v. 54, n. 3-4, p. 179-196, 2003.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: 26abr. 2010.

BRITO, M. M. **Identificação de cicatrizes de movimentos de massa na borda oriental da bacia do paraná com base em imagens Landsat 5-TM.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, n. 01, p. 056-070, 2015.

CAGLIONI, Eder; MILANI, Jaçanan Eloisa; SANTOS, Tomaz. **Ribeirão do Baú e Ribeirão Braço do Baú, Ilhota-SC: O uso e ocupação do solo frente aos deslizamentos de 2008.** Enciclopédia Biosfera, v. 11, n. 21, 2015.

CASTRO, A. L. C. **Glossário de defesa civil: estudo de riscos e medicina de desastres.** Brasília: MPO/ Departamento de Defesa Civil, 283 p. 1998

CAVEDON, Ari Dêlcio; SHINZATO, Edgar. **Levantamento de Reconhecimento de Solos. Projeto Porto Seguro/Santa Cruz Cabralia.** Salvador: CPRM-SUREG/AS, 2000

CEPED, UFSC. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012.** Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres 2 a. Ed. Florianópolis: CEPED UFSC, v. 126, 2013.

CERVI, Pedro Germano. **A Diversidade da Colonização do Vale do Itajaí: 1835–1867.** Revista Santa Catarina em História, v. 3, n. 2, p. 16-30, 2009.

Committee on the Review of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy. Partnerships for reducing landslide risks: assessment of the national landslide hazard mitigation strategy. The National Academic Press, p. 131, (2004).

COMPANHIA DE HABITACAO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. - COHAB/SC **Projeto Reacao Habitacao: Tempo de reconstrucao em Santa Catarina.** Selo Merito Associacao Brasileira de COHAB e Agentes Públicos de Habitacao, 25 slides, color, 2012.

CORRÊA, Carla Eunice Gomes; PEREIRA, Tatiane Viega Vargas. **Gestão Urbana e Regional no Vale do Itajaí: O Caso de Blumenau.** 2009.

DA SILVA JUNIOR, Ubiratan Joaquim et al. **Sensibilidade Espectral dos Índices de Vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na Mata Ciliar do Reservatório de Serrinha II–PE, Brasil.** Revista Brasileira de Cartografia, v. 73, n. 1, p. 17-35, 2021.

DA SILVA, Helton Damin et al. **Recomendação de solos para Araucaria angustifolia com base nas suas propriedades físicas e químicas.** Embrapa Florestas-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2001.

DE MELLO, Danilo César et al. **Uso e ocupação do solo: comparação de índices NDVI e GNDVI e inferências sobre biomassa de dossel vegetal.** Cadernos de Agroecologia, v. 15, n. 1, 2020.

DEMERS, Denis et al. **Inventory of large landslides in sensitive clay in the province of Québec, Canada:** preliminary analysis. In: Landslides in sensitive clays. Springer, Dordrecht, 2014. p. 77-89.

DIAS, Regina Davison; MAGNANO, Rachel Faverzani; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. **Geotecnia e Gestão Ambiental dos deslizamentos e inundações:** NuGEOTEC-Núcleo de Geotecnia e Riscos Ambientais. Grupos de Pesquisa e desenvolvimento regional, p. 41.

DIAS, Vivian Cristina; VIEIRA, Bianca Carvalho; GRAMANI, Marcelo Fischer. **Parâmetros morfológicos e morfométricos como indicadores da magnitude das corridas de detritos na Serra do Mar Paulista**. Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia, n. 29, 2016.

DOS SANTOS, Caio Floriano; TORNQUIST, Carmen Susana; MARIMON, Maria Paula Casagrande. **Indústria das enchentes: impasses e desafios dos desastres socioambientais no Vale do Itajaí**. Geosul, v. 29, n. 57, p. 197-216, 2014.

DOS SANTOS, Darlisson Bentes et al. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio São José, Cascavel, PR**. Applied Research & Agrotechnology, v. 5, n. 2, p. 7-18, 2012.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Londrina: EMBRAPA-SNLCS / SUDESUL / IAPAR, 1984. 2 v. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 27; IAPAR. Boletim Técnico, 16).

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. EMBRAPA, Rio de Janeiro, p. 306, 2006.

EMPRAPA. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. 2004

EIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. **Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

EVANS, N.C., HUANG, S.W. and KING, J.P., 1997, **The natural terrain landslide study - Phases I and II**. Special Project Report SPR 5/97, Geotechnical Engineering Office, Hong Kong.

FERNANDES & AMARAL. **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica**. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (Coordenadores). Geomorfologia e Meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 123-194, 1996.

FLORES, Juan Antonio Altamirano; PELLERIN, J. R. G. M.; ÉGAS, Harideva Marturano. **Movimentos Gravitacionais de Massa no Município de Gaspar, Vale do Itajaí, SC, na catástrofe de novembro de 2008**. Caracterização dos processos por critérios geomorfológicos, geológicos e pedológicos. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009.

FRAGA, Nilson Cesar. **Clima, gestão do território e enchentes no Vale do Itajaí-SC**. Terra Livre, v. 1, n. 20, p. 159-170, 2015.

FRAGA, Nilson Cesar. **Clima, gestão do território e enchentes no Vale do Itajaí-SC**. Terra Livre, n. 20, p. 159-170, 2003.

FRAGA, Nilson Cesar. **Geografia e acidentes socioambientais no Brasil–Vale do Itajaí/SC (2008) e Região Serrana/RJ (2011):** uma apreciação socioambiental dos desastres naturais e ações antrópicas. *Revista Presença Geográfica*, v. 2, n. 1, 2015.

Fundação universidade regional de Blumenau. Projeto crise. **Dados geoeconômicos dos municípios da bacia hidrográfica do rio Itajaí Blumenau:** IPA/FURB, s/d. Relatório de Pesquisa.

GALLI, M., Guzzetti, F. **Vulnerability to landslides in Umbria, central Italy.** *Environmental Management* 40, p. 649–664, 2007.

GAMA, Ricardo da Silva. **Respostas aos desastres em regiões litorâneas no Sul do Brasil:** um estudo comparativo.

GARCIA, Claudia Moreira; ROSEGHINI, Wilson Flávio Feltrim; ASCHIDAMINI, lone Maria. **Environmental management planning-considerations about the events occurring in Santa Catarina-Brazil in November 2008.** *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 19, p. 487-493, 2011.

GHOSH, T. et al. **Generating Substantially Complete Landslide Inventory using Multiple Data Sources:** A Case Study in Northwest Himalayas, India. *Journal of the Geological Society of India*, v. 95, n. 1, p. 45-58, 2020.

GILABERT, M.A; GONZÁLEZ-Piqueras; J; GARCÍA-Haro, F.J; MELIA, J. **A generalized soil-adjusted vegetation index. Remote Sensing of Environment.** v. 82. p. 303–310. 2002.

GUARIGUATA, Manuel R. Landslide disturbance and forest regeneration in the upper Luquillo Mountains of Puerto Rico. *The Journal of Ecology*, p. 814-832, 1990.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. **Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS.** *Remote Sensing of Environment*, v. 58, n. 3, p. 289-298, 1996.

GRAU, H. R. **Regeneration patterns of Cedrela lilloi (Meliaceae) in northwestern Argentina subtropical montane forests.** *Journal of Tropical Ecology*. v. 16, p. 227-242, 2000.

HANSEN, M. J. **Strategies for classification of landslides.**In: BRUNSDEN, D.; PRIOR, D. B. (Eds.) *Slope instability.*Salisbury: John Wiley e Sons, 1984. p. 1-25.

HARP, Edwin L. et al. **Landslide inventories: the essential part of seismic landslide hazard analyses.** *Engineering Geology*, v. 122, n. 1-2, p. 9-21, 2011.

HORTON, R. E. 1945. **Erosional development of streams and their drainage basins.** *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 56:275-370.

HUETE, A. R. **A soil adjusted vegetation index (SAVI)**. Remote Sensing of Environment, v.25, n. 3, p. 295-309, 1988. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Estudo das instabilizações de encostas da Serra do Mar na região de Cubatão objetivando a caracterização do fenômeno “corrida de lama” e prevenção de seus efeitos**. São Paulo: IPT, 1989. 185 p. (Relatório n. 26258).

JACOBI, Pedro Roberto et al. **Mudanças climáticas globais: a resposta da educação**. Revista Brasileira de Educação, v. 16, n. 46, p. 135-148, 2011.

JAEDICKE, Christian et al. **Identification of landslide hazard and risk ‘hotspots’ in Europe**. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, v. 73, n. 2, p. 325-339, 2014.

KAUFMAN, Y. J.; TANRE, D. **Atmospherically resistant vegetation index (ARVI)**. IEEE Transaction Geoscience Remote Sensing, v. 30, n. 2, p. 261-270, 1992. <http://dx.doi.org/10.1109/36.134076>

KLAUMANN, Ana Paula et al. **O problema das inundações no Alto Vale do Itajaí: abordagem exploratória inspirada no debate sobre o desenvolvimento territorial rural**. 2017.

KLEIN, Roberto Miguel, et al. **Ecology of the flora and vegetation of the Vale of Itajaí** (continuation. Sellowia, v.32, p. 165-389, 1980.

LEÃO, Júlio Cesar; DE SOUZA, Paulo Henrique. **Sistema inteligente de monitoramento de deslizamento de solos**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 7, p. 508-524, 2018.

LEMFERS, Fernanda Cristina; TENA, Franklin Misael Pacheco. **Modelagem da onda de enchente do evento de 2011 no rio itajaí-mirim, MUNICÍPIO DE BRUSQUE (SC) UTILIZANDO O MODELO HEC-RAS**.

LIN, Wen-Tzu et al. **Vegetation recovery monitoring and assessment at landslides caused by earthquake in Central Taiwan**. Forest Ecology and Management, v. 210, n. 1-3, p. 55-66, 2005.

LIN, Wen-Tzu et al. **Vegetation recovery monitoring and assessment at landslides caused by earthquake in Central Taiwan**. Forest Ecology and Management, v. 210, n. 1-3, p. 55-66, 2005.

LONDE, Luciana de Resende et al. **Impactos de desastres socioambientais em saúde pública: estudos dos casos dos Estados de Santa Catarina em 2008 e Pernambuco em 2010**. Revista Brasileira de Estudos de População, v. 32, n. 3, p. 537-562, 2015.

LV, Zhi Yong et al. **Landslide inventory mapping from bitemporal high-resolution remote sensing images using change detection and multiscale segmentation**. IEEE journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing, v. 11, n. 5, p. 1520-1532, 2018.

MALAMUD, Bruce D. et al. **Landslide inventories and their statistical properties**. Earth Surface Processes and Landforms, v. 29, n. 6, p. 687-711, 2004.

MARCUSSI, Aline Braga et al. **Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica - USE OF A INDEX VEGETATION FOR THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM**. Caminhos de geografia, v. 11, n. 35, 2010.

MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha et al. **Caracterização hidromorfológica da bacia do Vale do Itajaí**. 2011.

MARANGON, Luiz Carlos et al. Regeneração natural em um fragmento de floresta estacional semidecidual em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 32, p. 183-191, 2008.

MARGALEF R, **Ecologia**, Ediciones Omega, Barcelona, 1974.

MARINHO, R. **Estimativa de áreas com potencial de deslizamento de terra na região do morro do baú, santa catarina, através do modelo de relação de frequência e sig**. REVISTA GEONORTE, v. 5, n. 16, p. 136-140, 2014.

MARINHO, Rogério Ribeiro et al. **Aplicação de imagens sar orbitais em desastres naturais: MAPEAMENTO DAS INUNDAÇÕES DE 2008 NO VALE DO ITAJAÁ, SC**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 64, n. 3, 2012.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Editora Genesis, p. 174, 2000.

NERY, César Vinícius Mendes et al. **Utilização do modelo linear de mistura espectral e NDVI para avaliação do comportamento de área desmatada no município de Rio Pardo do Minas/MG**. Revista Caminhos de Geografia, v. 15, n. 49, p. 104-112, 2014.

NORRIS, J. S. et al. **Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions**. Springer, Doordrecht, The Netherlands. 2008.

NUNES, André Becker; DA SILVA, Gilson Carlos. **Climatology of extreme rainfall events in eastern and northern Santa Catarina State, Brazil: Present and future climate**. Brazilian Journal of Geophysics, v. 31, n. 3, p. 413-425, 2013.

OLIVEIRA, P. C. A. de; CRUZ, L. M.; SILVA, T. I. ; RODRIGUES, S. C. **Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Guaribas, Uberlândia - MG**. In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, 2008, Belo Horizonte. Anais... 2008.

POPMA, J.; BONGERS, F. **Acclimation of seedlings of three Mexican tropical rain forest tree species to a change in light availability.** *Journal of Tropical Ecology*, n. 7, p. 85-97, 1991.

PIKE, Richard J. **The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from digital elevation models.** *Mathematical geology*, v. 20, n. 5, p. 491-511, 1988.

PIZZI, Elaine. **Análise de precipitação intensa e desastres naturais por meio de séries climatológicas no período de 1998 a 2009 no Vale do Itajaí e Grande Florianópolis em Santa Catarina.** Engenharia Ambiental e Sanitária-Pedra Branca, 2020.

PONZONI, F. J. **Comportamento espectral da vegetação.** In: **Sensoriamento Remoto - Refletância dos alvos naturais.** Brasília: UnB, EMBRAPA, 2001. p.157-199.

Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 38:913-920, 1957.

REITZ, P. Raulino. **Vegetação do morro do Baú.** *Rodriguésia*, n. 25, p. 267-288, 1950.

REVISTA VEJA. **O horror diante dos olhos.** In: Revista Veja. Edição 2089 de 3 de dezembro de 2008. Disponível em: <http://veja.abril.com.br/031208/p_084.shtml>. Acesso em: 06 jul. 2011.

RODRIGUES, Luciene Alves et. Al. **Efeitos de solos e topografia sobre a distribuição de espécies arbóreas em um fragmento de floresta estacional semidecidual, em Luminárias, MG.** *Revista Árvore*, v.31, p. 25-35, 2007.

ROSA, Paulo Afonso et al. **Dinâmica da floresta do Parque Estadual do Turvo com índices de vegetação.** *Floresta e Ambiente*, v. 20, p. 487-499, 2013.

ROSENDO, J. dos S.; ROSA, R. **Exemplo de aplicação do Produto MOD13Q1 disponibilizado pelo sensor MODIS/Terra.**In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. Anais...Goiânia: INPE, 2005. p. 3285-3292.

ROSI, A. et al. **The new landslide inventory of Tuscany (Italy) updated with PS-InSAR: geomorphological features and landslide distribution.** *Landslides*, v. 15, n. 1, p. 5-19, 2018.

RUTHNER, Roberta Ribas; SEVEGNANI, Lucia. **Teores de Carbono Armazenado No Solo e na Serapilheira sob Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e Submontana do Vale do Itajaí, SC.** Centro de Ciências Tecnológicas. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2010.

SANTANGELO, Michele et al. **Landslide inventory map of the upper Sinni River valley, Southern Italy**. Journal of Maps, v. 11, n. 3, p. 444-453, 2015.

SANTOS, Vanessa; ALBERTON, Luiz; PFITSCHER, Elisete. **Desastres ambientais: estudo sobre os eventos ocorridos no estado de Santa Catarina-Brasil em 2008**. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, v. 10, n. 18, 2014.

SANTOS, E. G. et al. **Detecção de mudanças em cicatrizes de movimentos de massa na serra do mar paranaense a partir da diferença de valores de índice de vegetação NDVI**.

SANTOS, E. G. et al. **Detecção De Mudanças Em Cicatrizes De Movimentos De Massa Na Serra Do Mar Paranaense A Partir Da Diferença De Valores De Índice De Vegetação Ndvi**, 2015.

SBROGLIA, Regiane Mara et al. **Mapeamento geotécnico e das áreas suscetíveis a deslizamentos na microbacia do Ribeirão Baú, Ilhota/SC**. 2015.

SCHORN, Lauri Amândio; GALVÃO, Franklin. **Dinâmica da regeneração natural em três estágios sucessionais de uma Floresta Ombrófila Densa em Blumenau, SC**. Floresta, v. 36, n. 1, p. 59-74, 2006.

SESTINI, Marcelo Francisco; FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Caracterização de cicatrizes de deslizamentos por processamento de dados TM Landsat em Caraguatatuba-SP**. Geologia USP. Série Científica, v. 4, n. 2, p. 57-69, 2004.

SEPLAN. **Secretaria de Estado de Coordenação Geral e Planejamento-SEPLAN**. Subsecretaria de, 1991.

SEVERO, Dirceu Luis et al. **Análise hidrometeorológica do evento de 2008, no vale do itajaí-santa catarina**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2008.

SILVA, Lucas Vieira; FARIA, Raiza Moniz; FERNANDES FILHO, Elpídio Inácio. **Condicionantes geomorfológicos no estudo de cicatrizes de deslizamento**. 2019.

SOETERS, Robert; VAN WESTEN, C. J. **Slope instability recognition, analysis and zonation**. Landslides: investigation and mitigation, v. 247, p. 129-177, 1996.

SORREANO, M. C. M. **Avaliação de aspectos da dinâmica de florestas restauradas com diferentes idades**. Piracicaba: 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

SOUSA, L. F.; REFOSCO, J. C.; PINHEIRO, A. **Avaliação cronológica do uso do solo no Vale do Itajaí**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 12, p. 697-704, 2005.

STRAHLER, A. N. **Quantitative geomorphology of erosional landscapes**. Compt. Rend. 19th Intern. Geol. Cong., Sec. 13: 341-354, 1954.

TOMAZZOLI, E. R. **Caracterização geológico-geomorfológica dos movimentos de massa ocorridos no vale do Itajaí (Estado de Santa Catarina): Brasil: em novembro de 2008.** Parte: <http://hdl.handle.net/10316.2/24404>, 2012.

TOMAZZOLI, Edison Ramos; FLORES, Juan Antonio Altamirano; BAUZYS, Fernanda. **Movimentos de massa ocorridos no evento de novembro de 2008, no entorno do Morro do Baú, Vale do Itajaí (SC):** caracterização geológico-geomorfológica. Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas (COBRAE). 5, São Paulo. **Anais... São Paulo**, p. 1-10, 2009.

TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R. (Orgs.) **Desastres Naturais: conhecer para prevenir.** 1.ed/2º reimpressão. São Paulo: Instituto Geológico, 2011. 196 pp.

TONELLO, Kelly Cristina et al. **Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG.** Revista *Árvore*, v. 30, p. 849-857, 2006.

TORIOLA, D.; CHAREYRE, P.; BUTTLER, A. **Distribution of a primary forest plant species in a 18^o year old secondary forest in French Guiana.** *Journal of Tropical Ecology*, v.14, n. 3, p. 323-340, 1998.

VASCO, A. N. et al. **Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do Rio Poxim,** Sergipe, Brasil. *Revista Ambiente & Água, Taubaté*, v.6, n.1, p.118-130, jan./abr. 2011.

VERDONEN, Mariana et al. **Periglacial vegetation dynamics in Arctic Russia:** decadal analysis of tundra regeneration on landslides with time series satellite imagery. *Environmental research letters*, v. 15, n. 10, p. 105020, 2020.

VILLELA, S.M., MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** São Paulo: McGraw – Hill do Brasil, 1975, 245p.

WIECZOREK, Gerald F. **Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction.** *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, v. 21, n. 3, p. 337-342, 1984.

WILL, Anderson Renan et al. **Catástrofes naturais no Vale do Itajaí: estudo dos impactos no orçamento público no período de 2007 a 2010.** *Pensamiento & Gestión*, n. 38, p. 33-49, 2015.

WILLS, C. J. et al. **The California landslide inventory database.** In: Proc. Third North American Symp. on Landslides, Roanoke, VA, Association of Environmental and Engineering Geologists. 2017. p. 666-674.

ZARUBA, Q.; MENCL, V. **Landslides and their control:development in geotechnical engineering.** Amsterdam:Elsevier, 1982. 324 p.

ZIEHER, Thomas et al. **A multi-annual landslide inventory for the assessment of shallow landslide susceptibility—Two test cases in Vorarlberg, Austria.** *Geomorphology*, v. 259, p. 40-54, 2016.