



**LUCAS GRECO GUIMARÃES**

**REGENERAÇÃO NATURAL EM ÁREAS ATINGIDAS PELO  
REJEITO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO  
EM MARIANA, MINAS GERAIS**

**LAVRAS - MG  
2023**

**LUCAS GRECO GUIMARÃES**

**REGENERAÇÃO NATURAL EM ÁREAS ATINGIDAS PELO REJEITO DO  
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO EM MARIANA, MINAS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a  
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dra. Soraya Alvarenga Botelho  
Orientadora

**LAVRAS - MG  
2023**

**LUCAS GRECO GUIMARÃES**

**REGENERAÇÃO NATURAL EM ÁREAS ATINGIDAS PELO REJEITO DO  
ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO EM MARIANA, MINAS GERAIS**

**NATURAL REGENERATION IN AREAS AFFECTED BY TAILINGS FROM THE  
COLLAPSE OF THE FUNDÃO DAM IN MARIANA, MINAS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte das  
exigências do Curso de Engenharia Florestal, para a  
obtenção do título de Bacharel.

Aprovada em 03 de março de 2023.

Matheus Santos Luz	UFLA
Lucas Rafael Souza	UFLA
Prof. Dr. Soraya Alvarenga Botelho	UFLA

Prof. Dr. Soraya Alvarenga Botelho  
Orientadora

**LAVRAS - MG  
2023**

## AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho só foi possível por ter contado com o apoio de várias pessoas que, de diferentes formas, contribuíram para a sua finalização. Desta forma, expresso meu imenso agradecimento a todas elas.

Aos meus amados pais, João e Stael, que nunca mediram esforços para que eu pudesse concluir meus estudos. Não consigo descrever o quanto amo vocês.

À minha orientadora Soraya Alvarenga Botelho, pela oportunidade, paciência e conselhos.

Ao LASERF, pelo suporte e disposição do espaço, material e equipamentos para a elaboração deste trabalho.

As pessoas especiais que a cidade de Lavras me apresentou, companheiros de república e aos amigos de UFLA. Meus agradecimentos por todos os bons momentos que vivemos e continuamos compartilhando.

À minha namorada, Stela, por todo o amor, companheirismo, calma e suporte. Obrigado por ser meu porto seguro.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente o Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade de concluir minha graduação.

Aos membros da banca examinadora pela disponibilidade em participar da banca.

E a todos aqueles que passaram por meu caminho e de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho ou que fizeram a diferença pela boa convivência na Universidade.

Muito Obrigado!

## RESUMO

O rompimento da barragem do Fundão em Mariana, Minas Gerais, que ocorreu em 5 de novembro de 2015, foi uma das maiores catástrofes nacionais das últimas décadas, a massa de rejeitos de cerca de 45 milhões de metros cúbicos, percorreu aproximadamente 650 quilômetros por todo o vale do Rio Doce, ocasionando diversos impactos e atingindo cerca de 1.587 de hectares de vegetação nas suas margens. A regeneração de áreas afetadas pelo rejeito é crucial para a recuperação ambiental da região e para a conservação da biodiversidade, de forma a reduzir os impactos ocasionados. O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a regeneração natural em duas áreas que foram atingidas pela onda de rejeito no rompimento da barragem de Fundão em 2015, na margem do rio Doce, nos municípios de Barra Longa e Mariana, Minas Gerais. Para isso, dados de diversidade e riqueza de espécies foram coletados em transectos de 10 m de largura e comprimento variável (18 a 120 metros) em três áreas distintas, sendo uma delas uma área de referência onde não houve impacto dos rejeitos. Para compreender a influência da matriz de entorno nos resultados obtidos, foi determinada a distância de cada parcela até o fragmento florestal e o curso d'água mais próximos. As espécies foram classificadas quanto ao grupo ecológico e síndrome de dispersão. Para expressar a diversidade florística da regeneração natural da área referência e das áreas em processo de restauração foi utilizado o Índice de Shannon ( $H'$ ) e o índice de Pielou ( $J'$ ). Na avaliação da regeneração natural da área de Referência (1) algumas famílias se destacaram pelo número de indivíduos, são elas: Melastomataceae, Rubiaceae, Annonaceae, Fabaceae, Lauraceae e Sapindaceae. Na avaliação da regeneração natural das áreas 2 e 3, as famílias que se destacaram pelo número de indivíduos foram: Asteraceae e Fabaceae. O grupo ecológico das pioneiras foi o que apresentou mais indivíduos e foi possível observar que a síndrome de dispersão zoocória foi predominante nos três ambientes estudados pelo número de espécies. As espécies que se destacaram na área de referência foram *Tococa guianensis* Aubl., *Leandra regnellii* (Triana) Cogn, *Amaioua intermedia* Mart. ex Schult. & Schult.f., *Cardiopetalum calophyllum* Schldtl., *Sapindaceae* sp.2 e *Nectandra hihua* (Ruiz & Pav.) Rohwer, enquanto nas áreas em processo de restauração, destacaram-se: *Vernonia polyanthes* (Spreng.) Less, *Mimosa scabrella* Benth e *Solanum paniculatum* L. Neste trabalho verificou-se que os valores encontrados indicam que as espécies não estão bem distribuídas nas áreas atingidas pelo rejeito, ocorrendo dominância de espécie. Porém a área 2 apresentou equabilidade melhor. Observa-se que não ocorreu similaridade florística entre o estrato regenerativo da área de Referência e as outras duas áreas (2 e 3). O presente trabalho ressaltou a importância de se avaliar a influência de matrizes florestais para a recuperação de áreas atingidas pelos rejeitos do rompimento da barragem em Mariana, Minas Gerais. Foi possível concluir que não há efeito da matriz no número de espécies.

**Palavras-chave:** Restauração ecológica. Recuperação Ambiental. Mineração. Biodiversidade. Restauração Florestal.

## ABSTRACT

The collapse of the Fundão dam in Mariana, Minas Gerais, which occurred on November 5, 2015, was one of the largest national disasters of recent decades, the mass of tailings of about 45 million cubic meters, traveled approximately 650 kilometers throughout the valley of the Rio Doce, causing several impacts and affecting about 1,587 hectares of vegetation on its banks. The regeneration of areas affected by the tailings is crucial for the environmental recovery of the region and for the conservation of biodiversity, in order to reduce the impacts caused. The overall objective of this work was to evaluate the natural regeneration in two areas that were affected by the wave of tailings in the rupture of the Fundão dam in 2015, on the banks of the Doce River, in the municipalities of Barra Longa and Mariana, Minas Gerais. For this, diversity and species richness data were collected in transects of 10 m wide and variable length (18 to 120 meters) in three distinct areas, one of them being a reference area where there was no tailings impact. To understand the influence of the surrounding matrix on the results obtained, the distance from each plot to the nearest forest fragment and watercourse was determined. Species were classified by ecological group and dispersal syndrome. The Shannon index ( $H'$ ) and the Pielou index ( $J'$ ) were used to express the floristic diversity of the natural regeneration of the reference area and the areas undergoing restoration. In the evaluation of the natural regeneration of the Reference area (1) some families stood out by the number of individuals, they are: Melastomataceae, Rubiaceae, Annonaceae, Fabaceae, Lauraceae and Sapindaceae. In the evaluation of natural regeneration in areas 2 and 3, the families that stood out by the number of individuals were: Asteraceae and Fabaceae. The ecological group of pioneers was the one that presented the most individuals and it was possible to observe that the zoochoric dispersal syndrome was predominant in the three environments studied by the number of species. The species that stood out in the reference area were *Tococa guianensis* Aubl., *Leandra regnellii* (Triana) Cogn, *Amaioua intermedia* Mart. ex Schult. & Schult.f., *Cardiopetalum calophyllum* Schltdl., Sapindaceae sp.2 and *Nectandra hihua* (Ruiz & Pav.) Rohwer, while in the areas undergoing restoration process, the following stood out: *Vernonia polyanthes* (Spreng.) Less, *Mimosa scabrella* Benth and *Solanum paniculatum* L. In this work it was verified that the values found indicate that the species are not well distributed in the areas affected by the tailings, occurring species dominance. However, area 2 showed better equability. It was observed that no floristic similarity occurred between the regenerative stratum of the Reference area and the other two areas (2 and 3). The present work highlighted the importance of evaluating the influence of forest matrices for the recovery of areas affected by tailings from the dam collapse in Mariana, Minas Gerais. It was possible to conclude that there is no effect of matrix on the number of species.

**Keywords:** Ecosystem. Environmental Recovery. Mining. Biodiversity. Forest Restoration. Ecological restoration

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 - Mapa da região de estudo. ....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2 - Vista aérea da região atingida pela lama de rejeitos.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 3 - Número de indivíduos (A) e de espécies (B) amostradas na regeneração natural nas áreas estudadas, agrupadas de acordo com o grupo ecológico: Pioneiras (Pio), Secundárias iniciais (Sin), Secundárias tardias (Std) e não classificadas (Nc). ....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 4 - Número de espécies amostradas na regeneração natural nas áreas estudadas agrupadas de acordo com a síndrome de dispersão: Zoocoria (ZOO), Anemocoria (ANE) e Autocoria (AUT). NC: espécies não classificadas. ....</b>	<b>32</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Descrição das três áreas avaliadas, nos municípios de Mariana e Barra Longa, Minas Gerais. ....</b>	<b>18</b>
<b>Tabela 2 - Espécies presentes no mix de sementes.....</b>	<b>19</b>
<b>Tabela 3 - Área em hectares e extensão da área a margem do curso d'água em metros, das áreas avaliadas e o número de transectos lançados por área. ....</b>	<b>20</b>
<b>Tabela 4 – Famílias e espécies da flora arbórea e regeneração natural amostradas nas áreas estudadas, classificada quanto à forma de vida (FV), grupo ecológico (GE) e síndrome de dispersão (SD), localizada em Mariana MG. ....</b>	<b>26</b>
<b>Tabela 5 – Índices fitossociológicos para as espécies amostradas e identificadas na regeneração natural da área de referência (1), apresentando o número de indivíduos (N); as densidades absolutas (DA), densidade relativa (DR); dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoA), frequências absoluta e relativa (FA e FR %). ....</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 6 - Índices fitossociológicos para as espécies amostradas na regeneração natural da área atingida pelo rejeito (2), apresentando o número de indivíduos (N); as densidades absolutas (DA), densidade relativa (DR); dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoA), frequências absoluta e relativa (FA e FR %). ....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 7 – Índices fitossociológicos para as espécies amostradas na regeneração natural da área atingida pelo rejeito (3), apresentando o número de indivíduos (N); as densidades absolutas (DA), densidade relativa (DR); dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoA), frequências absoluta e relativa (FA e FR %). ....</b>	<b>34</b>
<b>Tabela 8 - Dados estruturais e de diversidade de espécies referentes ao levantamento florístico da regeneração natural, para as áreas 1 (referência), 2 e 3. Em que temos o número de indivíduos, número de espécies, densidade por hectare, o índice de diversidade de Shannon-Weaver (<math>H'</math>) e o índice de equabilidade de Pielou (<math>J'</math>).....</b>	<b>36</b>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Estudos de comunidades.....</b>	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Efeitos do rompimento da barragem.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3</b>	<b>Bacia do Rio Doce.....</b>	<b>12</b>
<b>2.4</b>	<b>Regeneração natural.....</b>	<b>13</b>
<b>2.5</b>	<b>Restauração ecológica.....</b>	<b>15</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da área.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>Amostragem e coleta de dados.....</b>	<b>20</b>
<b>3.3</b>	<b>Análise de dados.....</b>	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1</b>	<b>Composição florística da regeneração natural.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2</b>	<b>Grupos ecológicos e síndrome de dispersão.....</b>	<b>28</b>
<b>4.3</b>	<b>Análise estrutural da regeneração natural.....</b>	<b>32</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Área de referência (1).....</b>	<b>34</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Área atingida 2.....</b>	<b>35</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Área atingida 3.....</b>	<b>35</b>
<b>4.4</b>	<b>Diversidade florística.....</b>	<b>36</b>
<b>4.5</b>	<b>Similaridade florística.....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O rompimento da barragem do Fundão em Mariana, Minas Gerais, que ocorreu em 5 de novembro de 2015, foi uma das maiores catástrofes nacionais das últimas décadas. A massa de rejeitos decorrentes do processo de beneficiamento do minério de ferro por via úmida, de cerca de 45 milhões de metros cúbicos, percorreu aproximadamente 650 quilômetros por todo o vale do Rio Doce. O evento ocasionou impactos sociais, econômicos e em toda a fauna e a flora em seu percurso, atingindo cerca de 1.587 hectares de vegetação nas suas margens (GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, 2016).

A regeneração de áreas afetadas pelo rejeito é crucial para a recuperação ambiental da região e para a conservação da biodiversidade, de forma a reduzir os impactos ocasionados. Dentre os fatores que interferem na regeneração de uma área, a presença de uma matriz florestal próxima é um dos que apresenta maiores benefícios para o processo (SIMONELLI et al., 2021).

Baseado no exposto, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a regeneração natural em três áreas, que foram atingidas pela onda de rejeito no rompimento da barragem de Fundão em 2015, na margem do rio Doce, nos municípios de Barra Longa e Mariana, Minas Gerais.

Os objetivos específicos foram de avaliar e comparar florística e estruturalmente a regeneração natural das áreas, bem como verificar similaridade daquela com o estrato arbóreo, avaliar a interferência da matriz florestal conservada sobre as áreas estudadas e verificar similaridade florística e a regeneração natural nas diferentes áreas nas diferentes épocas de coleta.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 ESTUDO DE COMUNIDADES**

As comunidades arbóreas são de especial interesse em estudos de fitossociologia, pois apresentam grande variedade de padrões e processos relacionados às suas diversidades, que respondem diretamente a interferências do meio (HOPKINS, 2007). Esses estudos contribuem para caracterizar a vegetação como um todo e através de análise de índices obtêm-se o conhecimento da composição em espécies, organização, ecologia e classificação das comunidades (REGIS e SOARES, 2002).

As espécies pioneiras ou heliófilas apresentam germinação exclusivamente em presença de luz solar, necessitando da abertura de clareiras para que suas sementes possam germinar e as plantas crescerem utilizando a luz direta como fonte de energia. Por outro lado, as espécies não pioneiras, também conhecidas como clímax, secundárias ou tolerantes, germinam em sombra, sendo comum encontrá-las sob o dossel das florestas. Ainda que algumas dessas espécies possam crescer em ambientes mais abertos, seu crescimento é geralmente mais lento, resultando em copas mais densas e madeira mais resistente. Além disso, a produção tardia de sementes, em menor quantidade e de tamanho maior do que as espécies pioneiras, não permite a dispersão por longas distâncias, favorecendo a regeneração das espécies sob o dossel da floresta, onde árvores jovens e adultas da mesma espécie são comumente encontradas em proximidade (WHITMORE, 1990).

Assim, a teoria da ecologia de comunidades pode ser aplicada para entender a regeneração de áreas afetadas pelo rejeito do rompimento da barragem, através de como os índices sociológicos variam de acordo com os fatores estudados.

### **2.2 EFEITOS DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM**

O rompimento da barragem de Fundão ocorreu em 5 de novembro de 2015. Esse acontecimento é considerado o maior desastre mundial no setor de mineração em relação à quantidade e à distância percorrida pelo rejeito (CORDEIRO et al., 2019).

A estrutura em questão possuía 56,4 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito acumulados oriundos do processo de exploração e beneficiamento de minério de ferro, e com o rompimento, 32,6 milhões de m<sup>3</sup> foram liberados rapidamente. De acordo com estimativas do IBAMA (2015) a

lama atingiu cerca de 1500 hectares de área, 80% do rejeito permaneceu ao longo dos primeiros 120 Km. Desse modo, parte dessa quantidade percorreu mais de 650 km de cursos d'água (SAMARCO, 2017).

O rompimento da barragem do Fundão trouxe diversas consequências socioambientais negativas para as áreas atingidas, como a destruição de patrimônio público e privado, a supressão de vegetação nativa e plantada, poluição de cursos d'água, a perda de biodiversidade aquática e da fauna terrestre, além de vitimar 19 pessoas. (CARMO et al., 2017). Quando se trata dos impactos diretos sobre a vegetação local, segundo laudo fornecido pelo IBAMA (2015), a onda de rejeitos impactou gravemente as matas ciliares, pois em grande parte das áreas atingidas, houve a remoção completa da cobertura vegetal e o soterramento do banco de sedimentos ocasionado pelo acúmulo de sedimentos, isso afetou negativamente a capacidade de resiliência e o processo de sucessão nas áreas atingidas.

Após o desastre, a Fundação Renova iniciou as ações de reparação inicial, de modo a evitar que os rejeitos depositados nas margens dos rios e tributários continuassem sendo erodidos e carregados para os cursos d'água. Para tal, utilizou-se mix de sementes de espécies de rápido crescimento e biomantas, reconstrução dos taludes e enrocamento nos locais mais sujeitos ao desbarrancamento (SEMAD, 2018; FUNDAÇÃO RENOVA, 2019). Segundo a Fundação RENOVA (2019), estas técnicas possibilitam também o acúmulo de matéria orgânica que o solo precisa para restabelecer a vegetação da mata ciliar.

Após as ações de revegetação e estabilização do rejeito iniciou-se o plantio de mudas florestais nas áreas impactadas. Um dos primeiros experimentos foi implantado em fevereiro de 2018, no qual foram introduzidos cerca de 41 mil mudas de 30 espécies diferentes em uma área de 41,5 ha. O plantio apresentou uma taxa de sobrevivência de 95% (FUNDAÇÃO RENOVA, 2018).

### **2.3 BACIA DO RIO DOCE**

A bacia do Rio Doce está localizada na Região Sudeste do Brasil entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo nos paralelos 17°45' e 21°15' de latitude sul e os meridianos 39°55' e 43°45' de longitude oeste. Possui uma extensão total de 853 km e uma área de drenagem com cerca de 83.465 km<sup>2</sup> dos quais 86% pertencem ao Estado de Minas Gerais e o restante (14%) ao Estado do Espírito Santo sendo, portanto, uma bacia de domínio federal (COELHO, 2007).

A bacia possui uma rica biodiversidade, estando situada entre dois hotspots globais, sendo 98% de sua área na Mata Atlântica e 2% no Cerrado (ANA, 2016; MYERS et al., 2000). O clima que opera sobre a bacia é o tropical úmido caracterizado por duas estações, uma chuvosa, que se estende de novembro a abril, e outra seca, entre os meses de maio a outubro. As taxas médias de temperaturas e precipitação variam de 18° C a 25° C e 200 mm (estação seca) a 1050 mm (estação chuvosa), respectivamente (PIRES et al., 2017). O regime fluvial do rio Doce é perene, com períodos de cheias que ocorrem nos meses de dezembro, janeiro e março, e as vazantes, a partir de abril, com extremas nos meses agosto e setembro (COELHO, 2009).

A economia na bacia é, predominantemente, baseada na agricultura e no comércio, destacando-se a cultura do café, a pecuária, a silvicultura, o comércio e os serviços dos seus principais centros regionais, isto é, cidades com mais de 50.000 habitantes (COELHO, 2009).

O desmatamento modificou a paisagem da bacia do rio Doce, resultando em 59% de áreas de pastagens, 5% de terras agrícolas, 4% de áreas reflorestadas e 27% de remanescentes de vegetação nativa (ANA, 2016). De acordo com Ribeiro et al. (2020), 44% das áreas antropizadas na bacia (3,2 milhões de ha) possuem de médio a alto potencial para o uso da regeneração natural e 30% das APPs também apresentam elevada aptidão para esse método. Além disso, a bacia possui o maior complexo siderúrgico da América Latina, onde várias empresas siderúrgicas e mineradoras encontram-se instaladas. Tais empresas estão focadas principalmente na exploração de ferro, alumínio, berilo, crisoberilo, mica, feldspato e ouro (SANTOLIN et al., 2015). Todas essas atividades resultam em diversos impactos negativos ao longo da bacia rio Doce, como o assoreamento, a erosão, a contaminação dos solos, a poluição dos cursos d'água, a perda de vegetação, etc. (RESENDE FILHO; CORREA; TORRES, 2015).

Assim, deve-se identificar as diferentes condições para que o uso da regeneração natural seja eficaz, com o intuito de que o fornecimento de serviços ecológicos, econômicos e sociais sejam uma garantia desta e das futuras gerações. Espera-se que no futuro, com a aplicação das técnicas de recuperação e manejo da área, possa haver a retomada das funções ambientais e econômicas das regiões atingidas.

## **2.4 REGENERAÇÃO NATURAL**

A regeneração natural, ou restauração passiva, é o restabelecimento espontâneo de espécies vegetais após a ocorrência de distúrbios antrópicos ou naturais (CHAZDON et al., 2017). A mesma pode ser conduzida através de intervenções humanas, como cercamento, capina e fertilização do solo, conhecida como restauração natural assistida (LOZANO-BAEZ et al., 2019). Por outro lado, existe também a restauração ativa, que é realizada através do plantio de mudas ou da semeadura direta.

Finol (1971) define a regeneração natural como sendo todos os descendentes das plantas arbóreas que se encontram entre 0,10 m de altura até o limite de diâmetro estabelecido no levantamento estrutural. Enquanto para Volpato (1994) esse termo compreende todos os indivíduos com DAP < 5 cm. A definição do que é considerado ou não regeneração natural em um estudo depende de critérios adotados pelo pesquisador, se referindo em sua maioria a plantas jovens.

A ocorrência da regeneração natural está intrinsicamente relacionada à chuva de sementes de fragmentos do entorno e ao banco de sementes presente na área (SECCO; ACRA; CORAIOLA, 2019). Além disso, a disponibilidade adequada de água e nutrientes no solo, a ausência de incêndios e a presença mínima de espécies invasoras criam condições adequadas para o estabelecimento espontâneo da vegetação (CHAZDON et al., 2017; ROZENDAAL et al., 2019).

As florestas tropicais, em geral, possuem alta capacidade de regeneração natural, principalmente se estiverem próximas a uma fonte de propágulos que não se encontre demasiadamente alterada e se as terras abandonadas não tiverem sido submetidas a um uso intenso (GUARIGUATA; OSTERTAG, 2002).

Brancaion et al. (2015) exemplificam diversas condições ambientais que também afetam a possibilidade de aproveitamento inicial da regeneração natural, como por exemplo: o tempo e a forma de uso do solo, em que quanto maior o tempo em que uma área é submetida, principalmente, a atividades agrícola ou pecuária, menor será a sua resiliência devido a constante aplicação de herbicida, preparo do solo e roçagem realizados através desse sistema. Em contrapartida, áreas de baixa aptidão agrícola ou de plantios florestais, por não realizarem o uso intensivo do solo, apresentam maior potencial de aproveitamento da regeneração natural.

Nos ecossistemas degradados ocorrem, portanto, algumas barreiras para a regeneração natural, já que nesses ocorre baixa disponibilidade de propágulos, ou até mesmo a ausência destes (ENGEL; PARROTA, 2003). Os indivíduos jovens de uma comunidade (estrato da regeneração) são considerados bons indicadores da futura composição e estrutura da

comunidade, estando dependente apenas do surgimento de condições favoráveis para o seu desenvolvimento (FELFILI et al., 2001), esses representam o estoque ou a reserva potencial de indivíduos dentro do ecossistema (SIQUEIRA, 2002).

Mesmo uma área contendo condições favoráveis de regeneração, é pouco provável que se recuperem todas as espécies presentes no ecossistema original (BERTACCHI et al., 2015). De acordo com Rozendaal et al. (2019), é possível recuperar a riqueza das florestas degradadas nos trópicos em poucas décadas, porém, a composição de espécies, nesse mesmo contexto, pode levar séculos para que se assemelhem às florestas não antropizadas.

A regeneração natural é considerada um indicador de recuperação de áreas degradadas e para Rodrigues e Gandolf (1998) informações a respeito da diversidade do estrato regenerativo é o instrumento mais importante de avaliação e monitoramento de projetos de restauração, visto que o sucesso desses projetos está correlacionado com a evolução da diversidade na área revegetada. É analisada através de medições de diâmetro no nível do solo, e da altura das plântulas e plantas jovens, presentes em pequenas parcelas amostrais, lançadas na floresta.

Apesar dos benefícios técnicos e econômicos da regeneração natural, a restauração por esse método pode favorecer a colonização de espécies indesejáveis ou de baixo valor comercial (BERTACCHI et al., 2015). Nesses casos, o manejo nas comunidades deve ser adotado para reduzir os efeitos de espécies invasoras sobre os indivíduos de interesse e a composição de espécies pouco dispersas ou de alto valor comercial melhorada através do plantio de enriquecimento (FRIDAY et al., 2015).

O objetivo, portanto, é que um ambiente submetido a técnicas de restauração tenha seus aspectos estrutural e funcional semelhantes aos da condição original (ENGEL; PARROTA, 2003), de modo que este se torne resiliente às faixas normais de estresse ambiental e perturbação, e tenha capacidade de sustentar-se sozinho nos aspectos citados acima, sem que haja necessidade de intervenção antrópica (SER, 2004)

## **2.5 RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA**

Restauração ecológica pode ser definida como o processo de auxílio, o conjunto de práticas, que visam o reestabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído, como citado pela Sociedade Internacional para Restauração Ecológica – SER (2004). É uma atividade intencional que tem como objetivo iniciar ou acelerar o processo de

recuperação de um ecossistema, na tentativa deste retornar à sua trajetória anterior (SER, 2004). Essa ciência permite a recuperação de serviços ecossistêmicos que um ambiente pode prover, como o armazenamento de carbono, o fornecimento de água limpa, a manutenção da fertilidade do solo, a regulação do clima e do fluxo de água, a biodiversidade e as interações ecológicas (HONDA e DURIGAN, 2017).

O crescimento populacional, aliado ao desenvolvimento industrial e da agricultura, bem como a exploração excessiva de recursos naturais levaram à destruição de inúmeras comunidades vegetais. Nesse contexto, a restauração ecológica pode ser utilizada como ferramenta para reverter esse problema (HOBBS, 2017).

Para que uma floresta consiga alcançar os estágios finais da restauração, ela é submetida a uma série de processos que ocorrem por meio da sucessão ecológica. Esse fenômeno pode ser representado por diferentes comunidades vegetais que se substituem ao longo do tempo e no espaço (GANDOLFI et al., 2007). Cada uma dessas comunidades ou estágios sucessionais apresentam espécies com características semelhantes de adaptação, crescimento, sobrevivência e reprodução, permitindo separar as espécies em grupos ecológicos (BOAS; DURIGAN et al., 2004). Essa classificação auxilia na descrição e compreensão de como o processo sucessional ocorre.

A restauração ecológica é um processo lento e, pelas características das alterações provocadas pelo rompimento da barragem e deposição do rejeito, entende-se que o processo de restauração das matas ciliares será um processo demorado e com diversos fatores a serem analisados. Por isso, fica claro que será necessário o monitoramento e avaliação das áreas atingidas, para que essas possam receber operações de manejo, se necessário, para alcançar a restauração e sua autossustentabilidade e função ecológica.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

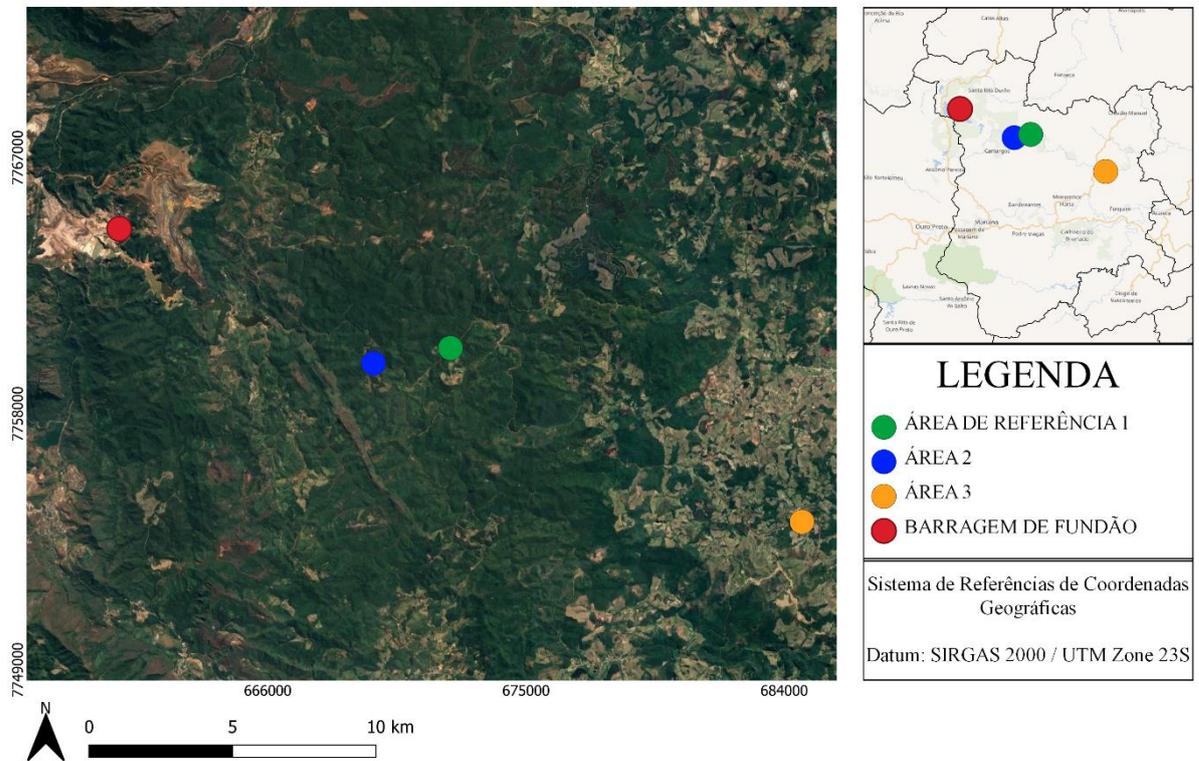
As áreas avaliadas estão inseridas no bioma Mata Atlântica (IBGE, 2004) ao longo da bacia do Rio Doce, nos municípios de Mariana e Barra Longa, pertencentes a propriedades rurais atingidas pelo rompimento da barragem do Fundão em 2015.

A bacia hidrográfica do rio Doce apresenta uma área de 84 mil km<sup>2</sup>, estando localizada nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Seu rio principal é o Doce, que percorre cerca de 853 km (ANA, 2016). O clima é o tropical úmido com estação chuvosa de novembro a abril e seca de maio a outubro. As taxas médias de temperatura e precipitação variam de 18° C a 25° C e 200 mm a 1050 mm, respectivamente (MITTERMEIER, et al. 2005). A vegetação é constituída principalmente por matas estacionais semidecíduas, pertencentes ao bioma da Mata Atlântica (FONSECA, 1997). O relevo é bastante acidentado e os solos predominantes são os Latossolos Vermelho - Amarelo e os Argissolos Vermelho - Amarelo (ANA, 2013).

Esse estudo foi conduzido em três áreas da bacia do rio Doce, no estado de Minas Gerais (Figura 01). A área de referência (Área 1) não foi impactada pela lama, sendo avaliada como ecossistema de referência, que pode ser classificada como autossustentável. A área atingida pelo rejeito (Área 2) está cercada por uma matriz florestal conservada e outra área (Área 3), também atingida pelo rejeito, encontra-se em região antropizada, ocupada por atividades agrícolas e de pecuária (Tabela 01). As duas áreas apresentam deposição de rejeito da barragem de Fundão e estão em processo de restauração. Nas duas primeiras áreas foram realizadas intervenções de restauração por meio da semeadura de um mix de sementes de espécies de rápido crescimento (Tabela 02) e o plantio de mudas. O mix de semente começou a ser utilizado a partir de 2016 e o plantio de espécies arbustivo-arbóreas ocorreu em 2018.

Figura 1 - Mapa da região de estudo.

## MAPA DE LOCALIZAÇÃO



Fonte: do autor (2023).

Tabela 1 - Descrição das três áreas avaliadas, nos municípios de Mariana e Barra Longa, Minas Gerais.

Área	Matriz	Estágio de restauração (anos)*	Ano do plantio	Localização da área em coordenadas geográficas
1	Conservada	Referência	Referência	20°14'51.0"S 43°20'58.7"W
2	Conservada	3	2018	20°15'07.9"S 43°22'31.4"W
3	Antropizada	3	2018	20°18'04.1"S 43°13'54.5"W

\* anos entre o plantio de mudas e a coleta dos dados

Fonte: do autor (2023).

Figura 2 – Vista aérea da região atingida pela lama de rejeitos.



Fonte: Ministério Público do Estado de Minas Gerais (2020).

Tabela 2 - Espécies presentes no mix de sementes.

<b>Família</b>	<b>Espécie</b>	<b>Nome comum</b>	<b>Hábito</b>
Amaranthaceae	<i>Alternanthera tenella</i> Colla	Apaga fogo	Subarbustiva
Asteraceae	<i>Helianthus annuus</i> L.	Girassol forrageiro	Erva
Brassicaceae	<i>Raphanus sativus</i> L.	Nabo forrageiro	Erva
Fabaceae	<i>Cajanus cajan</i> (L.) Huth	Feijão guandu	Arbustivo
	<i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC.	Feijão de porco	Trepador
	<i>Crotalaria</i> spp.	Chocalho de cascavel	Arbustivo
	<i>Dolichos lablab</i> L.	Dolichos lab lab	Rasteiro trepador
	<i>Lotus corniculatus</i> L.	Cornichão	Erva
	<i>Neonotonia wightii</i> (Graham ex Wight Arn.)	Soja perene	Rasteiro trepador
	<i>Stylosanthes</i> spp.	Estilosante	Herbáceo
Poaceae	<i>Vicia sativa</i> L.	Ervilhaca	Trepadeira
	<i>Avena</i> spp.	Aveia amarela e preta	Gramínea
	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Gramma seda	Gramínea
	<i>Lolium multiflorum</i> Lam.	Azevém	Gramínea
	<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R.Br.	Milheto	Gramínea
	<i>Pennisetum setosum</i> (Sw.) Rich.	Capim custódio	Gramínea
	<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench	Sorgo formoso	Gramínea

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2016).

### 3.2 AMOSTRAGEM E COLETA DE DADOS

A coleta de dados aconteceu no período entre janeiro e junho de 2021. Foram lançados transectos de 10 m de largura e comprimento variável, em função da largura da área em restauração, que se estenderam da margem do rio até o final da área impactada pelo rejeito. A intensidade de transectos lançados por área, foi variável de acordo com a área de plantio (hectares) e com a extensão da área a margem do curso d'água (metros), dessa forma, a área 1 (referência) foram lançados 3 transectos, na área 2 foram lançados 5 transectos e na área 3 foram lançados 8 transectos (Tabela 03). Dentro de cada um deles foram alocadas 4 parcelas de 20 m<sup>2</sup> (2 x 10) que são igualmente distantes entre si, conforme o comprimento do transecto.

Tabela 3 - Área em hectares e extensão da área a margem do curso d'água em metros, das áreas avaliadas e o número de transectos lançados por área.

Área	Área (ha)	Extensão (m)	Nº de transectos
1	96,9	-	3
2	1,58	120	5
3	1,78	830	8

Fonte: do autor (2023).

A amostragem do estrato regenerante incluiu todos os indivíduos arbustivos e arbóreos com DAP (diâmetro a 1,30 m do solo) igual ou inferior a 5 cm e altura igual ou superior a 10 cm, de acordo com o estabelecido por Finol (1971), sendo assim então, os limites inferior e superior para o levantamento do estrato regenerante. Procedeu-se a identificação das espécies in loco, quando os indivíduos encontrados nessas parcelas e que atendiam aos critérios estabelecidos foram identificados em campo quanto à espécie. As espécies foram classificadas em famílias, com seus nomes científicos e respectivos autores de acordo o banco de dados da Lista de Espécies da Flora Brasileira (FLORA DO BRASIL, 2020). Quando não era possível realizar a identificação imediata, coletava-se o material botânico para posterior consulta aos especialistas da área da Universidade Federal de Lavras e confirmadas através de bibliografia especializada.

Para compreender a influência da matriz de entorno nos resultados obtidos, foi determinada a distância de cada parcela até o fragmento florestal e o curso d'água mais próximos. Como sugerido por Souza (2015), o vértice mais distante de cada parcela teve suas

coordenadas geográficas registradas com auxílio de um GPS e, a partir dele foi traçada uma reta até o início do fragmento e até o rio no software QGIS 3.16.6. As imagens de satélite também foram utilizadas para identificar qual o uso de cada área antes da ocorrência do desastre de Fundão, ou seja, se a mesma era conservada ou já era degradada.

### 3.3 ANÁLISE DOS DADOS

As espécies oriundas da regeneração natural foram classificadas quanto a forma de vida em arbustivas e arbóreas, bem como ao grupo ecológico, seguindo as definições propostas por Budowski (1965), e modificado por Gandolfi; Leitão Filho; Bezerra (1995), caracterizando as espécies em pioneiras, secundárias iniciais e secundárias tardias. Esses autores especificam que as pioneiras ocorrem sob a luz do sol. Por sua vez, as secundárias iniciais desenvolvem-se em condições de sombreamento médio ou luminosidade não muito intensa e, em contrapartida, as secundárias tardias germinam e se desenvolvem em condições de sombra. Nesse último grupo, as espécies podem permanecer por toda a vida no sub-bosque ou então crescer até alcançar o dossel ou a condição de emergente.

Quanto à guilda de dispersão, as espécies foram classificadas, de acordo com Van der Pijl (1982), nas categorias: (1) Anemocórias - espécies cujas sementes são disseminadas pelo vento; (2) Zoocórias – espécies cujas sementes são disseminadas pelos animais; e (3) Autocórias - espécies cujas sementes são dispersadas pela gravidade ou por deiscência explosiva.

Para expressar a diversidade florística da área referência e das áreas em processo de restauração foi utilizado o Índice de Shannon ( $H'$ ) (BROWER & ZAR, 1984), e o índice de Pielou ( $J'$ ) para analisar a distribuição das espécies nas áreas (PIELOU, 1966). Ambos os cálculos foram realizados no software Microsoft Excel© 2019. O índice de Shannon ( $H'$ ) é um ótimo indicador de diversidade pois além de considerar a riqueza de espécies em uma área, ele também leva em consideração o número de indivíduos em cada espécie, ou seja, a equabilidade.

#### a) Densidade

Expressa a participação das diferentes espécies dentro da associação vegetal.

Densidade absoluta (DA) indica o número de indivíduos de uma espécie por unidade de área [hectare (ha)].

$$DA = \frac{n}{\text{Área}}$$

Densidade relativa (DR) indica a participação de cada espécie em relação ao número total de árvores/indivíduos.

$$DR = \left(\frac{n}{N}\right) * 100$$

n = número de indivíduos de uma determinada espécie.

N = número total de indivíduos.

### **b) Frequência**

Exprime a distribuição espacial de cada espécie na área. Indica o número de unidades amostrais que uma espécie ocorre e relação ao número total de unidades amostrais.

Frequência absoluta (FA) indica a porcentagem (ou proporção) de ocorrência de uma espécie em uma determinada área.

$$FA = \frac{pi}{P} * 100$$

Pi = número de parcelas (unidades amostrais) com ocorrência da espécie i.

P = número total de parcelas (unidades amostrais) na amostra.

Frequência Relativa (FR) é a relação entre a frequência absoluta de determinada espécie com a soma das frequências absolutas de todas as espécies.

$$FR = \frac{FAi}{\sum FA} * 100$$

FAi = Frequência absoluta de uma determinada espécie.

$\sum$ FA = somatório das frequências absolutas de todas as espécies amostradas.

### c) **Dominância**

A Dominância refere-se à taxa de ocupação do ambiente pelos indivíduos de uma dada espécie por unidade de área, geralmente por hectare.

Dominância Absoluta (DoA) é definida como a área basal total de uma determinada espécie ( $g_i$ ) por unidade de área, geralmente o hectare.

$$DoA = \frac{g_i}{\text{Área}(ha)}$$

$$g_i = \frac{\pi \cdot DAP^2}{4}$$

Dominância Relativa (DoR) representa a porcentagem da área basal de uma determinada espécie ( $g_i$ ) em relação a área basal de todas as espécies amostradas ( $G$ ), o somatório das áreas basais individuais), ambas calculadas por unidade de área.

$$DoR = \left( \frac{g_i}{G} \right) * 100$$

$$G = \sum g_i$$

### d) **Índice de Diversidade de Shannon-Wiener (Diversidade alfa)**

O índice de diversidade de Shannon ( $H'$ ) assume que os indivíduos são amostrados de forma aleatória de uma população infinitamente grande, assumindo também que todas as espécies estão representadas na amostra. É um índice baseado na abundância proporcional das espécies na comunidade:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \cdot \ln(p_i)$$

s é o número de espécies na amostra,  $p_i$  a proporção de indivíduos de cada espécie em relação ao número total de indivíduos de todas as espécies, ou seja, a densidade relativa de cada espécie,

e ln é logarítimo neperiano.

**e) Equabilidade J de Pielou**

Equabilidade ou índice de Pielou (J) representa a distribuição do número de indivíduos em relação às espécies. Varia de 0 a 1,0, sendo que o valor 1,0 representa a situação em que todas as espécies possuem a mesma abundância, ou seja, a mesma quantidade de indivíduos.

$$J = \frac{H'}{H_{max}}$$

$H'_{max} = \ln(S)$ ; S é o número de espécies amostradas.

**f) Índice de Jaccard – Sj (Diversidade Beta)**

O índice de Jaccard é qualitativo, portanto, não considera o número de indivíduos presentes na amostra e sim a presença e a ausência deles.

$$Sj = \frac{a}{a + b + c}$$

a = número de espécies presentes nas duas áreas;

b = número de espécies exclusivas da área/amostra 1;

c = número de espécies exclusivas da área/amostra 2.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA DA REGENERAÇÃO NATURAL

A listagem de todas as espécies amostradas na regeneração natural e no extrato arbóreo nas três áreas é representada nas Tabelas 4, 5 e 6 respectivamente.

Na área de referência foram observados 457 indivíduos, distribuídos em 32 famílias botânicas e 45 espécies, resultando em uma densidade média de 19.041,7 indivíduos.ha-1 , na área 2 foi registrado um total de 29 indivíduos, distribuídos em 5 famílias botânicas e 7 espécies, resultando em uma densidade média de 725 indivíduos.ha-1 e na área 3 foi registrado um total de 29 indivíduos, distribuídos em 6 famílias botânicas e 7 espécies, resultando em uma densidade média de 453,12 indivíduos.ha-1

Na avaliação da regeneração natural da área de Referência (1) algumas famílias se destacaram pelo número de indivíduos, são elas: *Melastomataceae*, *Rubiaceae*, *Annonaceae*, *Fabaceae*, *Lauraceae* e *Sapindaceae*.

Na avaliação da regeneração natural da área 2 e 3 as famílias que se destacaram pelo número de indivíduos foram: *Asteraceae* e *Fabaceae*. A família *Fabaceae* destacou-se nas três áreas, porém esse destaque deve-se por diferentes espécies em cada uma delas. Essa família é a terceira maior dentro das angiospermas (LEWIS et al., 2005) e no Brasil está entre as principais famílias que compõem a flora de diversos ecossistemas (SOUZA; LORENZI, 2005).

Tabela 4 – Famílias e espécies da flora arbórea e regeneração natural amostradas nas áreas estudadas, classificada quanto à forma de vida (FV), grupo ecológico (GE) e síndrome de dispersão (SD), localizada em Mariana MG.

Nome científico	FV	GE	SD	Ref.	Áreas	
					2	3
<b>Asteraceae</b>						
<i>Vernonia polyanthes</i> (Spreng.) Less.	Arb	Pio	Ane		x	x
<b>Moraceae</b>						
<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W.C.Burger et al.	Arv	Std	Zoo	x		
<b>Apocynaceae</b>						
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll.Arg.	Arv	Std	Ane	x		
<b>Bignoniaceae</b>						
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	Arv	Pio	Ane	x		
<b>Celastraceae</b>						
<i>Salacia</i> sp.	-	-	-	x		
<b>Lauraceae</b>						
<i>Ocotea bicolor</i> Vattimo-Gil	Arv	Std	Zoo	x		
<b>Malpighiaceae</b>						
<i>Byrsonima</i> sp.					x	
<b>Melastomataceae</b>						
<i>Leandra regnellii</i> (Triana) Cogn.	Arb	Pio	Zoo	x		
<b>Rubiaceae</b>						
<i>Amaioua intermedia</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	Arv	Sin	Zoo	x		
<i>Cordia concolor</i> (Cham.) Kuntze	Arb	Pio	Zoo	x		
<b>Urticaceae</b>						
<i>Pourouma guianensis</i> Aubl.	Arv	Pio	Zoo	x		
<b>Anacardiaceae</b>						
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Arv	Sin	Zoo	x		
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Arv	Sin	Ane			x
<b>Annonaceae</b>						
<i>Xylopi frutescens</i> Aubl.	Arv	Sin	Zoo	x		
<i>Cardiopetalum calophyllum</i> Schltld.	Arv	Sin	Zoo	x		
<i>Xylopi brasiliensis</i> Spreng.	Arv	Sin	Zoo	x		
<i>Rollinia sylvatica</i> (A.St.-Hil.) Mart.	Arv	Sin	Zoo	x		
<b>Apocynaceae</b>						
<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	Arv	Sin	Ane	x		
<b>Araliaceae</b>						
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire et al.	Arv	Sin	Zoo	x		
<b>Cardiopteridaceae</b>						
<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) R.A.Howard	Arv	Std	Zoo	x		

(continua)

**Chloranthaceae***Hedyosmum brasiliensis* Mart. Arb Std Zoo x**Fabaceae***Senna organensis* (Glaz. ex Harms) H.S.Irwin Arb Pio Aut x*Inga vera* Willd. Arv Pio Zoo x*Inga edulis* Mart. Arv Sin Zoo x*Dalbergia frutescens* (Vell.) Britton Arv Sin Ane x*Calliandra tweedii* Benth. Arb Pio Aut x x*Inga marginata* Willd. Arv Sin Zoo x*Mimosa scabrella* Benth. Arv Pio Aut x x**Lacistemataceae***Lacistema serrulatum* Mart. - - - x**Lauraceae***Nectandra hihua* (Ruiz & Pav.) Rohwer Arv Sin Zoo x*Nectandra oppositifolia* Nees & Mart. Arv Pio Zoo x**Lecythidaceae***Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze Arv Std Ane x**Malpighiaceae***Bunchosia pallescens* Skotts. Arv Std Zoo x**Malvaceae***Ceiba speciosa* (A.St.-Hil.) Ravenna Arv Sin Ane x**Melastomataceae***Tococa guianensis* Aubl. Arb Pio Zoo x**Meliaceae***Trichilia pallida* Sw. Arv Std Zoo x**Metteniusaceae***Emmotum nitens* (Benth.) Miers Arv Sin Zoo x**Myrtaceae***Myrtaceae* sp. 1 - - - x*Myrciaria disticha* O.Berg Arv Pio Zoo x*Eugenia* sp. x*Psidium guajava* L. Arv Pio Zoo x x**Phyllanthaceae***Margaritaria nobilis* L.f. Arv Sin Aut x**Piperaceae***Piper crassinervium* Kunth Arb Pio Zoo x*Piper aduncum* L. Arb Pio Zoo x**Rubiaceae***Tocoyena sellowiana* (Cham. & Schltl.) K.Schum. Arv Std Zoo x*Chomelia pohliana* Müll.Arg. Arb Std Zoo x*Psychotria carthagenensis* Jacq. Arb Std Zoo x*Ixora brevifolia* Benth. Arv Std Zoo x

(continua)

**Sapindaceae***Sapindaceae* sp.2 - - - x*Allophylus melanophloeus* Radlk. Arv Sin Zoo x**Siparunaceae***Siparuna guianensis* Aubl. Arb Sin Zoo x**Urticaceae***Cecropia pachystachya* Trécul. Arv Pio Zoo x*Acacia bonariensis* Gillies ex Hook. & Arn. x**Solanaceae***Solanum paniculatum* L. Arb Pio Zoo x**Verbenaceae***Citharexylum myrianthum* Cham. Arb Pio Zoo x

Fonte: do autor (2023).

Nota: Em que: Zoo = zoocória; Ane = anemocória; Aut = autocória; Pio = pioneira; Sin = Secundária inicial; Std = secundária tardia; Arb = Arbóreo; Arv = árvore.

De modo geral, grande parte das famílias amostradas registraram baixa representatividade de espécies. A espécie *Vernonia polyanthes* (assa peixe) foi contabilizada nas duas áreas com depósito de rejeito. Nesses locais, a mesma espécie também possui elevados valores de densidade e de frequência. Do total de indivíduos amostrados nas áreas 2 e 3 56,90% são de assa peixe. Já na área de referência, as espécies *Tococa guianensis* e *Leandra regnellii* (Triana) Cogn. foram observadas em maior abundância.

## 4.2 GRUPOS ECOLÓGICOS E SÍNDROME DE DISPERSÃO

Na área de referência (1) observou-se que 22,2% das espécies presentes na regeneração são Pioneiras (Pio), 35,55 das espécies são Secundárias Iniciais e 26,67% são Secundárias Tardias. Para 15,58% das espécies catalogadas não foi possível identificar seus grupos ecológicos. Desconsiderando as espécies que não foi possível identificar, as espécies secundárias iniciais (Sin) e secundárias tardias (Std) juntas representaram 73,75% do total de espécies, valor estatisticamente superior ao número de espécies pioneiras (Pio).

Analisando-se o número de indivíduos em cada grupo ecológico (Figura 2), na área de referência, verificou-se que indivíduos de espécies do grupo das Pioneiras somaram 55,92% do total, seguida pelas Secundárias iniciais (34,83%) e pelas Secundárias tardias (9,24%), ocorreu diferença significativa entre o número de indivíduos nos grupos ecológicos na seguinte ordem Pio > Sin > Std indicando que as condições locais ainda são adequadas para a germinação e

estabelecimento de espécies pioneiras e que essa área encontra-se em estágio de sucessão mais avançado que as áreas em restauração.

Para a área atingida pelo rejeito (área 2), verificou-se um predomínio de espécies pioneiras (85,71%) seguido pelas Secundárias Iniciais (14,29%), diferindo estatisticamente entre si. Quando se observa o número de indivíduos por grupo ecológico, na área 2 verifica-se o predomínio de indivíduos de espécies Pioneiras (96,55%) e apenas um indivíduo do grupo das Sin, diferindo estatisticamente entre si.

Na área 3, os resultados foram idênticos ao da área 2, predominando o número de espécies e indivíduos do grupo das Pioneiras (85,71% e 96,55% respectivamente). Novamente seguidos pelas espécies Secundárias Iniciais (14,29% e 3,45%), diferindo estatisticamente entre si.

Essa situação indica que as áreas 2 e 3 encontram-se em estágio inicial de sucessão, ou seja, mesmo que propágulos de espécies Secundárias Tardias cheguem até a área, a germinação e estabelecimento de espécies Pioneiras e Secundárias Iniciais encontram condições mais favoráveis para germinação e estabelecimento dos indivíduos regenerantes.

O banco de sementes do solo em florestas tropicais é constituído basicamente por espécies pioneiras, herbáceas e arbustivo arbóreas de ciclo de vida curto (BAIDER; TABARELLI; MANTOVANI, 1999).

Em estudo realizado em quatro trechos de Floresta Atlântica com diferentes idades no Parque Estadual Intervales, SP, as espécies arbóreas pioneiras representaram 77% do total de espécies e 96,5% dos indivíduos germinados (BAIDER; TABARELLI; MANTOVANI, 2001)

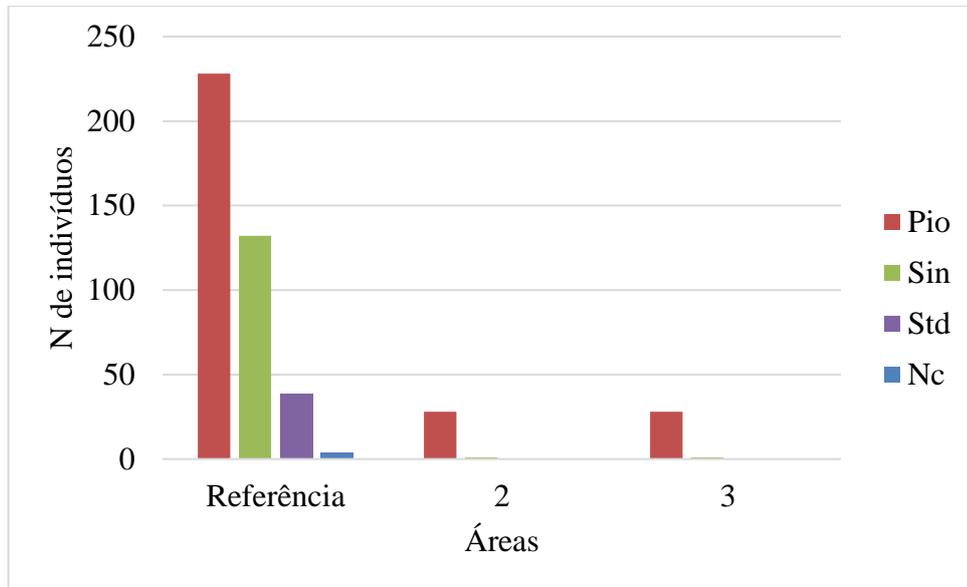
As espécies amostradas foram classificadas conforme suas síndromes de dispersão e na Figura 3 pode-se observar que a síndrome de dispersão zoocória foi predominante nos três ambientes estudados, apresentando valores significativamente superior aos demais. Ao nível de indivíduos, os valores divergem entre as áreas, a área de referência (1) possui cerca de 94% de indivíduos da espécie com dispersão Zoocória, seguido por 3% (Ane) e 2,75% (Aut). Na área 2 os indivíduos das espécies com dispersão Anemocórias representam 51,72%, seguido por 24,14% de Autocórias e 24,14% de Zoocórias. Já na área 3 os indivíduos das espécies com dispersão Anemocórias representam 72,41% do total, seguido por 17,24% de indivíduos com dispersão Zoocórias e 10,34% de autocóricas.

A zoocoria é a principal síndrome de dispersão, característica de florestas tropicais, nos vários extratos das florestas (NEGRINI et al., 2012; RESNIK; PIRES; FREITAS, 2012; STEFANELLO et al., 2010) e foi o que se constatou, também, neste trabalho, com

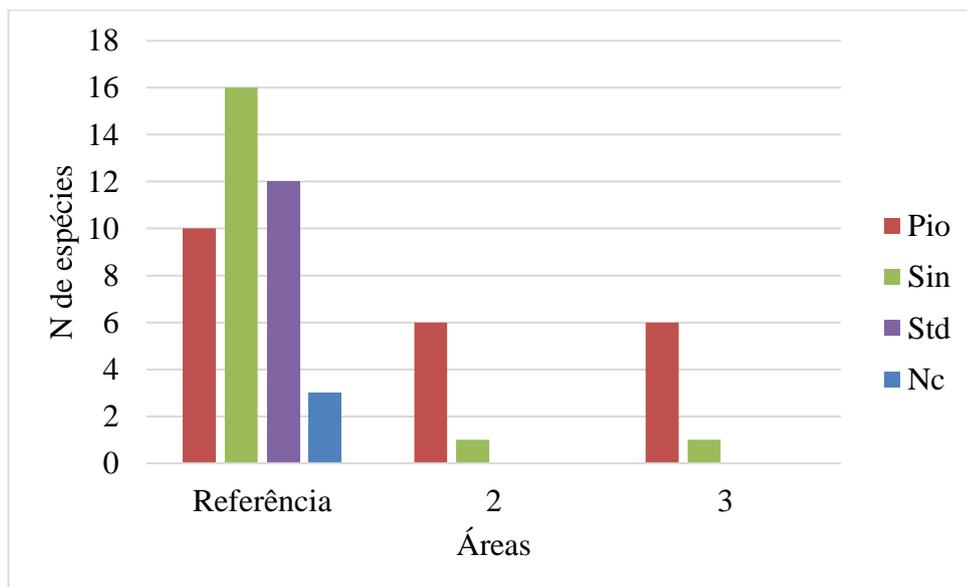
aproximadamente 94% do total de indivíduos coletados na área de referência, são com dispersão Zoocória.

Figura 3 - Número de indivíduos (A) e de espécies (B) amostradas na regeneração natural nas áreas estudadas, agrupadas de acordo com o grupo ecológico: Pioneiras (Pio), Secundárias iniciais (Sin), Secundárias tardias (Std) e não classificadas (Nc).

(A)

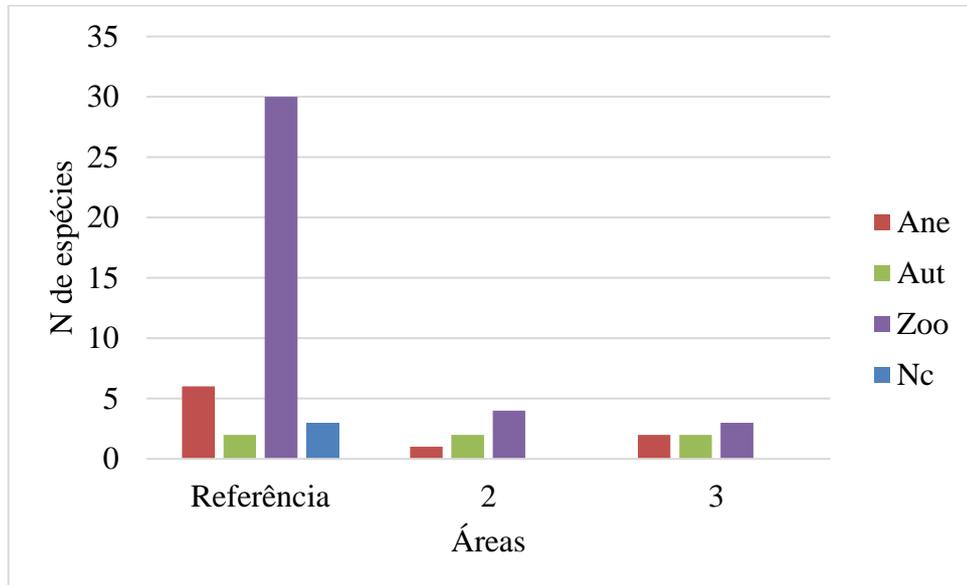


(B)



Fonte: do autor (2023).

Figura 4 - Número de espécies amostradas na regeneração natural nas áreas estudadas agrupadas de acordo com a síndrome de dispersão: Zoocoria (ZOO), Anemocoria (ANE) e Autocoria (AUT). NC: espécies não classificadas.



Fonte: do autor (2023).

### 4.3 ANÁLISE ESTRUTURAL DA REGENERAÇÃO NATURAL

A análise estrutural da regeneração natural tem como objetivo subsidiar diversas decisões a partir da fitossociologia, como no manejo adaptativo, tratamentos silviculturais, além de embasar os fundamentos técnicos necessários. Os parâmetros fitossociológicos foram calculados para as três áreas (1, 2 e 3), e estão representados nas Tabelas 7, 8 E 9 respectivamente.

Tabela 5 – Índices fitossociológicos para as espécies amostradas e identificadas na regeneração natural da área de referência (1), apresentando o número de indivíduos (N); as densidades absolutas (DA), densidade relativa (DR); dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR), frequências absoluta e relativa (FA e FR %).

<b>Espécies</b>	<b>N</b>	<b>DA</b>	<b>DR</b>	<b>DoA</b>	<b>DoR</b>	<b>FA</b>	<b>FR</b>
<i>Tococa guianensis</i> Aubl.	123	5125	28,34	0,82	22,21	100	9,68
<i>Leandra regnellii</i> (Triana) Cogn.	76	3166,67	17,51	0,33	8,87	75	7,26
<i>Cardiopetalum calophyllum</i> Schldl.	33	1375	7,6	0,54	14,58	66,67	6,45
<i>Nectandra hihua</i> (Ruiz & Pav.) Rohwer	23	958,33	5,3	0,4	10,95	83,33	8,06
<i>Amaioua intermedia</i> Mart. ex Schult. & Schult.f.	50	2083,33	11,52	0,11	3,05	91,67	8,87
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	12	500	2,76	0,35	9,46	33,33	3,23
<i>Sapindaceae</i> sp.2	27	1125	6,22	0,07	1,77	58,33	5,65
<i>Senna organensis</i> (Glaz. ex Harms) H.S.Irwin	10	416,67	2,3	0,09	2,46	66,67	6,45
<i>Ocotea bicolor</i> Vattimo-Gil	8	333,33	1,84	0,23	6,13	33,33	3,23
<i>Psychotria carthaginensis</i> Jacq.	8	333,33	1,84	0,04	1,16	50	4,84
<i>Inga vera</i> Willd.	5	208,33	1,15	0,14	3,92	25	2,42
<i>Aspidosperma cylindrocarpon</i> Müll.Arg.	4	166,67	0,92	0,03	0,91	25	2,42
<i>Bunchosia pallescens</i> Skottsbo.	5	208,33	1,15	0,01	0,3	25	2,42
<i>Citronella paniculata</i> (Mart.) R.A.Howard	2	83,33	0,46	0,1	2,59	8,33	0,81
<i>Piper crassinervium</i> Kunth	4	166,67	0,92	0,04	1,14	16,67	1,61
<i>Allophylus melanophloeus</i> Radlk.	2	83,33	0,46	0,06	1,59	16,67	1,61
<i>Salacia</i> sp.	2	83,33	0,46	0,06	1,54	16,67	1,61
<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W.C.Burger et al.	3	125	0,69	0,01	0,14	16,67	1,61
<i>Chomelia pohliana</i> Müll.Arg.	1	41,67	0,23	0,04	1,08	8,33	0,81
<i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) Maguire et al.	1	41,67	0,23	0,03	0,8	8,33	0,81
<i>Trichilia pallida</i> Sw.	1	41,67	0,23	0,03	0,8	8,33	0,81
<i>Pourouma guianensis</i> Aubl.	4	166,67	0,92	0	0,05	8,33	0,81
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	3	125	0,69	0,01	0,17	8,33	0,81
<i>Tocoyena sellowiana</i> (Cham. & Schldl.) K.Schum.	3	125	0,69	0	0,11	8,33	0,81
<i>Eugenia</i> sp.	1	41,67	0,23	0,02	0,55	8,33	0,81
<i>Margaritaria nobilis</i> L.f.	1	41,67	0,23	0,02	0,55	8,33	0,81
<i>Xylopia brasiliensis</i> Spreng.	1	41,67	0,23	0,02	0,55	8,33	0,81
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	2	83,33	0,46	0,01	0,31	8,33	0,81
<i>Cordia concolor</i> (Cham.) Kuntze	1	41,67	0,23	0,01	0,35	8,33	0,81
<i>Lacistema serrulatum</i> Mart.	1	41,67	0,23	0,01	0,35	8,33	0,81
<i>Cariniana legalis</i> (Mart.) Kuntze	2	83,33	0,46	0	0,07	8,33	0,81
<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers	1	41,67	0,23	0,01	0,29	8,33	0,81
<i>Byrsonima</i> sp.	2	83,33	0,46	0	0,01	8,33	0,81
<i>Xylopia frutescens</i> Aubl.	1	41,67	0,23	0,01	0,23	8,33	0,81
<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	1	41,67	0,23	0,01	0,2	8,33	0,81
<i>Rollinia sylvatica</i> (A.St.-Hil.) Mart.	1	41,67	0,23	0,01	0,2	8,33	0,81
<i>Myrciaria disticha</i> O.Berg	1	41,67	0,23	0	0,13	8,33	0,81
<i>Myrtaceae</i> sp. 1	1	41,67	0,23	0	0,13	8,33	0,81
<i>Acacia bonariensis</i> Gillies ex Hook. & Arn.	1	41,67	0,23	0	0,09	8,33	0,81
<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	1	41,67	0,23	0	0,06	8,33	0,81

<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul.	1	41,67	0,23	0	0,06	8,33	0,81
<i>Hedyosmum brasiliensis</i> Mart.	1	41,67	0,23	0	0,06	8,33	0,81
<i>Inga edulis</i> Mart.	1	41,67	0,23	0	0,02	8,33	0,81
<i>Dalbergia frutescens</i> (Vell.) Britton	1	41,67	0,23	0	0,01	8,33	0,81
<i>Ixora brevifolia</i> Benth.	1	41,67	0,23	0	0,01	8,33	0,81

Fonte: do autor (2023).

Tabela 6 - Índices fitossociológicos para as espécies amostradas na regeneração natural da área atingida pelo rejeito (2), apresentando o número de indivíduos (N); as densidades absolutas (DA), densidade relativa (DR); dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR), frequências absoluta e relativa (FA e FR %).

<b>Espécies</b>	<b>N</b>	<b>DA</b>	<b>DR</b>	<b>DoA</b>	<b>DoR</b>	<b>FA</b>	<b>FR</b>
<i>Vernonia polyanthes</i> (Spreng.) Less.	15	750	51,72	0,01	15,2	40	30,77
<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	5	250	17,24	0	1,22	20	15,38
<i>Piper aduncum</i> L.	2	100	6,9	0,01	13,47	20	15,38
<i>Psidium guajava</i> L.	2	100	6,9	0	4,32	20	15,38
<i>Calliandra tweedii</i> Benth.	2	100	6,9	0,03	59,45	10	7,69
<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees & Mart.	2	100	6,9	0	0,95	10	7,69
<i>Inga marginata</i> Willd.	1	50	3,45	0	5,39	10	7,69

Fonte: do autor (2023).

Tabela 7 – Índices fitossociológicos para as espécies amostradas na regeneração natural da área atingida pelo rejeito (3), apresentando o número de indivíduos (N); as densidades absolutas (DA), densidade relativa (DR); dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR), frequências absoluta e relativa (FA e FR %).

<b>Espécies</b>	<b>N</b>	<b>DA</b>	<b>DR</b>	<b>DoA</b>	<b>DoR</b>	<b>FA</b>	<b>FR</b>
<i>Vernonia polyanthes</i> (Spreng.) Less.	20	666,67	68,97	0,33	80,51	80	63,16
<i>Solanum paniculatum</i> L.	2	66,67	6,9	0,02	4,31	13,33	10,53
<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	1	33,33	3,45	0,03	7,39	6,67	5,26
<i>Psidium guajava</i> L.	2	66,67	6,9	0,01	2,17	6,67	5,26
<i>Calliandra tweedii</i> Benth.	1	33,33	3,45	0,02	5,38	6,67	5,26
<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	2	66,67	6,9	0	0,08	6,67	5,26
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	1	33,33	3,45	0	0,16	6,67	5,26

Fonte: do autor (2023).

#### 4.3.1 ÁREA DE REFERÊNCIA (1)

Na área de referência a densidade total de indivíduos em regeneração estimada foi de 19.041,7 indivíduos.ha-1. As espécies que se destacaram entre as 45 espécies amostradas (TABELA 7), com maior densidade absoluta, foram: *Tococa guianensis* Aubl. (5125 ind.ha-1), *Leandra regnellii* (Triana) Cogn. (3166,67 ind.ha-1), *Amaioua intermedia* Mart. ex Schult. &

*Schult.f.* (2083,33 ind.ha-1), *Cardiopetalum calophyllum Schltl.* (1375 ind.ha-1), *Sapindaceae sp.2* (1125 ind.ha-1) e *Nectandra hihua (Ruiz & Pav.) Rohwer* (958,33 ind.ha-1). Essas espécies juntas representam aproximadamente 76,50% da densidade total da área.

No que diz respeito à distribuição das espécies na área, verificou-se que *Tococa guianensis Aubl.*, *Leandra regnellii (Triana) Cogn.*, *Amaioua intermedia Mart. ex Schult. & Schult.f.*, *Cardiopetalum calophyllum Schltl.*, *Sapindaceae sp.2* e *Nectandra hihua (Ruiz & Pav.) Rohwer*, ou seja, as espécies que apresentaram maior densidade, também foram as que melhor se distribuíram na área. As espécies *Tococa guianensis Aubl.*, *Amaioua intermedia Mart. ex Schult. & Schult.f.* e *Nectandra hihua (Ruiz & Pav.) Rohwer* apresentaram os valores maiores de frequência relativa (TABELA 7).

#### 4.3.2 ÁREA ATINGIDA 2

Na área atingida pelo rejeito (2), a densidade total de indivíduos em regeneração foi estimada em 725 indivíduos.ha-1 (TABELA 8). Dentre as 7 espécies amostradas, nota-se que *Vernonia polyanthes (Spreng.) Less.* (750 ind.ha-1) e *Mimosa scabrella Benth.* (250 ind. ha-1) foram as espécies que mais se destacaram, juntas representaram aproximadamente 68,96% da densidade total da área em estudo.

No que diz respeito à distribuição das espécies amostradas na área, as espécies que mais se destacaram foram *Vernonia polyanthes (Spreng.) Less.* (30,77%) e *Mimosa scabrella Benth* (15,38%). As demais espécies apresentaram frequência relativa menor que 8%.

#### 4.3.3 ÁREA ATINGIDA 3

Na área atingida pelo rejeito (3), a densidade total de indivíduos em regeneração foi estimada em 453,12 indivíduos. ha-1 (TABELA 9). Dentre as 7 espécies amostradas, nota-se que *Vernonia polyanthes (Spreng.) Less.* (666,67 ind. ha-1) foi a espécie que mais se destacou, representando aproximadamente 68,96% da densidade total da área em estudo.

No que diz respeito à distribuição das espécies amostradas na área, as espécies que mais se destacaram foram *Vernonia polyanthes (Spreng.) Less.* (63,16%) e *Solanum paniculatum L.* (10,53%). As demais espécies apresentaram frequência relativa menor que 6%.

#### 4.4 DIVERSIDADE FLORÍSTICA

Para a regeneração natural os valores encontrados para diversidade de Shannon e de Equabilidade de Pielou para as três áreas estão representados na Tabela 10.

De acordo com Reis (2008), em áreas onde a riqueza é considerada baixa, a adequada distribuição de indivíduos tende a elevar o valor atribuído ao índice. Avaliando o compartimento de diversidade das áreas estudadas, o  $H'$  da regeneração natural foi superior para as áreas referência, como esperado.

Reis (2008) afirma que em áreas em processo de restauração utilizando método de reflorestamento por plantio de mudas, encontrou valores que variavam de 3,47 a 3,01 para áreas em processo inicial de restauração, de um a três anos, assim como as áreas não restauradas. Os resultados inferiores nas áreas, pode ser explicado pelo alto grau de fragmentação da vegetação. De acordo com Viana e colaboradores al. (1992) o isolamento de fragmentos florestais, acarretam imensas modificações na dinâmica das populações.

Tabela 8 - Dados estruturais e de diversidade de espécies referentes ao levantamento florístico da regeneração natural, para as áreas 1 (referência), 2 e 3. Em que temos o número de indivíduos, número de espécies, densidade por hectare, o índice de diversidade de Shannon-Weaver ( $H'$ ) e o índice de equabilidade de Pielou ( $J'$ ).

Area	Densidade	Densidade/ha	Diversidade	Shannon	Pielou
1	434	18083,33	45	2,55	0,67
2	29	725	7	1,5	0,77
3	29	453,12	7	1,16	0,6

Fonte: do autor (2023).

O índice de equabilidade de Pielou da área 2 foi semelhante ao encontrado por Silva et al. (2018) de 0,78. De acordo Mores et al. (2020), o baixo valor de Pielou está associado ao grande número de indivíduos em algumas espécies. Dessa forma, a áreas 3 contabilizou baixo  $J'$ , em decorrência da alta densidade relativa de *Vernonia polyanthes* (Spreng.) Less. observada, chegando a 65,51%.

Equabilidade máxima significa uniformidade máxima e equabilidade mínima quando há uma espécie dominante (ALVARENGA, 2004). Portanto, neste trabalho verificou-se que os valores encontrados, para as áreas, indicam que OS INDIVIDUOS não estão bem distribuídos nas ESPÉCIES atingidas pelo rejeito, ocorrendo dominância de espécie. Porém a área 2 apresentou equabilidade melhor.

#### 4.5 SIMILARIDADE FLORÍSTICA

No que diz respeito à similaridade florística entre as áreas, procurou-se comparar a regeneração natural de cada uma das duas áreas que sofreram intervenção humana, com a área de referência, e as duas entre si. Com os estudos de similaridade é possível avaliar as semelhanças e as diferenças na composição entre os diferentes estratos de uma comunidade vegetal e entre diferentes comunidades em uma mesma região ou em regiões distintas identificando possíveis correlações com variáveis ambientais (MEIRA NETO; MARTINS, 2002).

Neste estudo observa-se que não ocorreu similaridade florística entre o estrato regenerativo da área de Referência e as outras duas áreas (2 e 3), visto que o limite mínimo para duas áreas serem consideradas floristicamente semelhantes é de 25 % para o índice de Jaccard (MÜLLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974) e na análise dessas áreas não encontrou nenhuma similaridade, isso porque as áreas atingidas pelo rejeito receberam muitas espécies no momento da semeadura e do plantio. Não houve espécies em comum entre as três áreas analisadas. A distância, nesse caso, entre as áreas não pode ser considerada um fator que influencia na similaridade entre as áreas, visto que a área 2 atingida pelo rejeito se encontra próxima a área de referência.

Em uma área restaurada através de plantio de mudas, com 40 anos de idade, também não ocorreu similaridade entre os estratos arbóreo e regenerativo, mostrando que a regeneração tem recebido influência de outros fragmentos (MIRANDA NETO et al., 2012).

A baixa similaridade encontrada entre os estratos das áreas estudadas pode ser em função da influência de propágulos provenientes de áreas circunvizinhas, além das próprias condições locais, e da influência do rejeito depositado nessas áreas analisadas, as quais podem estar favorecendo o desenvolvimento de espécies que não estejam presentes no estrato arbóreo. Porém, esses valores não levam em conta o número de indivíduos, o que é mais relevante quando se trata do potencial de regeneração de uma comunidade. A alta proporção de indivíduos em regeneração das espécies mais importantes do estrato regenerativo sugere que tais espécies poderão representar a futura comunidade arbórea (SALLES; SCHIAVINI, 2007).

## 5 CONCLUSÃO

Do ponto de vista prático, os resultados auxiliam na tomada de decisão quanto aos projetos de recuperação de áreas atingidas por rejeitos de mineração, através da regeneração natural e plantio de mudas. O maior entendimento dos processos ecológicos envolvidos possibilita que a escolha dos métodos e espécies utilizadas sejam mais assertivas e com maiores chances de bons resultados.

Foi possível concluir que não há efeito da área de referência na composição florística das demais áreas atingidas pelo rejeito até o momento da coleta dos dados. Após três anos, as áreas afetadas ainda possuem poucas espécies.

Recomenda-se que futuras pesquisas sejam realizadas nas áreas afetadas, buscando entender melhor as implicações de matrizes ao relacionar uma maior variedade de índices ecológicos, assim como analisar mais áreas. O monitoramento contínuo de áreas em regeneração natural é de extrema importância para que seja possível acompanhar o desenvolvimento e ir direcionando técnicas de restauração mais assertivas e corretivas, quando necessário.

A restauração de áreas atingidas por rejeitos é um assunto atual e com poucos estudos que comprovam a eficácia de técnicas aplicadas. Com essas conclusões, ressalta-se a relevância do tema para a engenharia florestal e a necessidade de novas pesquisas para aprimorar o conhecimento sobre esse tema.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, A. P. **Avaliação inicial da recuperação de mata ciliar em nascentes**. 2004. 175 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.
- ANA. **Encarte Especial sobre a Bacia do Rio Doce Rompimento da Barragem em Mariana/MG**. Brasília: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2016. 50p.
- ANA. **Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da bacia do rio Doce**. Brasília: ANA, 2013. 129p.
- BAIDER, C.; TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. **O banco de semente de um trecho de floresta alto montana (São Paulo, Brasil)**. Revista Brasileira de Biologia, Rio de Janeiro, v. 59, n. 2, p. 319-328, 1999.
- BAIDER, C.; TABARELLI, M.; MANTOVANI, W. **The soil seed bank during atlantic forest regeneration in southeast Brazil**. Revista Brasileira de Biologia, Rio de Janeiro, v. 61, n. 1, p. 35-44, 2001.
- BERTACCHI, M. I. F. et al. **Establishment of tree seedlings in the understory of restoration plantations: natural regeneration and enrichment plantings**. Restoration Ecology, v. 24, n. 1, p. 100-108, 2015.
- BOAS, O. V.; DURIGAN, G. **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão**. São Paulo: Ed. Páginas e Letras, 2004. 484p.
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Restauração Florestal**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2015. 432p.
- BROWER, J. E.; ZAR, J. H. **Field & laboratory methods for general ecology**. Boston: W. C. Brown, 1984.
- BUDOWSKI, G. **Distribution of tropical American rain forest species in the light of successional processes**. Turrialba, v.15, n.1, p.40-42, 1965.
- CARMO, F. F. et al. **Fundão tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context**. Perspectives in Ecology and Conservation, 2017.
- CHAZDON, R. L. et al. **Partnering with nature: The case for natural regeneration in forest and landscape restoration**. Canadá: Feri Policy Brief, 2017. 13p.
- COELHO, André Luiz Nascentes. **Alterações hidrogeomorfológicas no médio-baixo Rio Doce/ES. 2007. Tese de Doutorado. Tese de doutorado**). Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

- COELHO, André Luiz Nascentes. **Bacia hidrográfica do Rio Doce (MG/ES): uma análise socioambiental integrada**. Geografares, 2009.
- CORDEIRO, M. C. et al. **Insights on the freshwater microbiomes metabolic changes associated with the world's largest mining disaster**. Science of the Total Environment, v. 654, n. 1, p. 1209-1217, 2019.
- ENGEL, V.L.; PARROTA, J.A. **Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais**. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. (Ed.). Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu: FEPAF, 2003. cap. 1, p.3-26.
- FELFILI, J. M. et al. **Desenvolvimento inicial de espécies de mata de galeria**. In: RIBEIRO, J. F.; FONSECA, C. E. L.; SOUZA-SILVA, J. C. Cerrado: caracterização e recuperação de matas de galeria. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p. 779-811.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar: a computer statistical analysis system**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FINOL, U. H. **Nuevos parámetros a considerarse en el analisis estructural de las selvas virgens tropicales**. Revista Forestal Venezolana, Mérida, v. 14, n. 21, p. 337-344, 1971.
- FLORA DO BRASIL. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020**. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>.
- FONSECA, G. A. B. **Impactos antrópicos e biodiversidade terrestre**. In: Paula, J. A. et al. Biodiversidade, população e economia: uma região de Mata Atlântica. Belo Horizonte: UFMG/Cedeplar, 1997. p. 455-468.
- FRIDAY J. B. et al. **Future directions for forest restoration in Hawai'i**. New Forests, v. 46, n. 5, p. 1-14, 2015.
- FUNDAÇÃO RENOVA. **No caminho da reparação. 2019**. Disponível em: <https://www.fundacaorenova.org/wpcontent/uploads/2019/10/nocaminhodareparacao2019.pdf>
- FUNDAÇÃO RENOVA. **Taxa de sobrevivência de espécies nativas plantadas em área atingida é de 95%, 2018**. Disponível em: <https://www.fundacaorenova.org/noticia/taxa-desobrevivencia-de-especies-nativas-plantadas-em-area-atingida-e-de-95/>. Acesso em: 24 fev. 21.
- GANDOLFI, S.; LEITÃO-FILHO, H. F.; BEZERRA, C. L. F. **Levantamento florístico e caráter sucessional das espécies arbustivo-arbóreas de uma floresta Mesófila Semidecídua no município de Guarulhos, SP**. Revista Brasileira de Biologia, v. 55, n. 4, p. 753-767, 1995.
- GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V. Theoretical bases of the forest ecological restoration. In: RODRIGUES, R. R.; MARTINS, S. V.; GANDOLFI, S. **High diversity forest restoration in degraded areas**. New York: Nova Science Publishers, 2007. p. 200-286.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana-MG**. Responsável: Grupo da Força-Tarefa. Decreto nº 46.892/2015. Belo Horizonte, fevereiro de 2016.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Sucesión secundaria. In: GUARIGUATA, M. R.; KATTAN, G. H. **Ecología y conservación de bosques neotropicales**. Mexico: LUR, 2002. p. 591-618.

HOBBS, R. J. **Where to from here? Challenges for restoration and revegetation in a fastchanging world**. The Rangeland Journal, v. 39, n. 5, p. 563-566, 2017.

HONDA, E. A.; DURIGAN, G. **A restauração de ecossistemas e a produção de água**. Hoehnea, v. 44, n. 3, p. 315-327, 2017.

HOPKINS, Michael JG. **Modelling the known and unknown plant biodiversity of the Amazon Basin**. Journal of Biogeography, v. 34, n. 8, p. 1400-1411, 2007.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE. **Laudo Técnico Preliminar: Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. In: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Minas Gerais, 2015. Disponível em: [http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias\\_ambientais/laudo\\_tecnico\\_preliminar.pdf](http://www.ibama.gov.br/phocadownload/noticias_ambientais/laudo_tecnico_preliminar.pdf)

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Biomas do Brasil: 1ª aproximação**. Brasília: IBGE, 2004.

LEWIS, G. et al. **Legumes of the world**. Kew: Royal Botanic Gardens, 2005. 577 p.

LOZANO-BAEZ, S. E. et al. **Recovery of soil hydraulic properties for assisted passive and active restoration: Assessing historical land use and forest structure**. Water, v. 11, n. 86, p. 1- 18, 2019.

MEIRA NETO, J. A. A.; MARTINS, F. R. **Composição florística de uma Floresta Estacional Semidecidual Montana no município de Viçosa-MG**. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 437- 446, 2002

MIRANDA NETO, A. et al. **Relações ecológicas entre estratos de uma área restaurada, com 40 anos, Viçosa-MG**. Floresta e Ambiente, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 393-404, 2012.

MITTERMEIER, R. A. et al. **Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions: Conservation International**. Sierra Madre, Cemex, v. 315, 2005.

MORES, G. J. et al. **Natural regeneration of woody and herbaceous species in ecological restoration areas in the Atlantic Forest**. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.15, n.4, p. 1-10, 2020.

MÜLLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 547 p.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; DA FONSECA, G. A.; & KENT, J. 2000. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. *Nature*, v. 403, p. 853-858.

NEGRINI, M. et al. **Dispersão, distribuição espacial e estratificação vertical da comunidade arbórea em um fragmento florestal no Planalto Catarinense**. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 36, n. 5, p. 919-929, 2012.

OLIVEIRA, R. O. et al. **Serviço para contenção de sedimentos por meio de vegetação**. São Paulo: Bioengenharia Soluções ambientais, 2016. 41p

PIELOU, E. C. **An introduction to mathematical ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1966. 286 p.

PIRES, A. P. F. et al. **Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience**. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 15, n. 3, p. 187-193, 2017.

REGIS C. H.; SOARES, JOÃO J. **Estrutura fitossociológica da comunidade de lianas em uma floresta estacional semidecidual na Fazenda Canchim, São Carlos, SP**. *Brazilian Journal of Botany*, v. 25, p. 323-329, 2002.

REIS, D. N. dos. **Desenvolvimento de um índice para avaliação da recuperação de ecossistemas ciliares**. Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade Federal de Lavras – Lavras: UFLA, 2008. 179 p. : il.

RESENDE FILHO, M. A.; CORREA, J. S. O.; TORRES, M. O. **Water Pricing in Brazil: Successes, Failures, and New Approaches**. In: DINAR, A.; POCHAT, V.; ALBIAC MURILLO, J. **Water Pricing Experiences and Innovations**. Switzerland: Springer, 2015. p. 41-61.

RESNIK, G.; PIRES, J. P. A.; FREITAS, L. **Efeito de bordas lineares na fenologia de espécies arbóreas zoocóricas em um remanescente de Mata Atlântica**. *Acta Botanica Brasilica*, Porto Alegre, v. 26, n. 1, p. 65-73, 2012.

RIBEIRO, S. M. C. et al., **A spatially explicit index for mapping Forest Restoration Vocation (FRV) at the landscape scale: Application in the Rio Doce basin, Brazil**, *Science of the Total Environment*, v. 74, p. 1-37, 2020.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. **Restauração de florestas tropicais: subsídios para uma definição metodológica e indicadores de avaliação e monitoramento**. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 203-215.

ROZENDAAL, D. M. A. et al. **Biodiversity recovery of Neotropical secondary forests**. *Science Advances*, v. 5, n. 3, p. 1-10, 2019.

SALLES, J. C.; SCHIVIANI, I. **Estrutura e composição do estrato de regeneração em um fragmento florestal urbano: implicações para a dinâmica e a conservação da comunidade arbórea.** Acta Botanica Brasilica, Porto alegre, v. 21, n. 1, p. 223-233, 2007.

SAMARCO. **Relatório de impacto ambiental - RIMA - EIA - integrado do complexo germano.** 2017. Acesso em: 25/07/2019. Disponível em:  
<https://www.samarco.com/wpcontent/uploads/2017/11/rima-samarco-2017.pdf>

SANTOLIN, C. V. A. et al. **Distribution and environmental impact evaluation of metals in sediments from the Doce River Basin, Brazil.** Environmental Earth Sciences, v. 74, n. 2, p. 1235-1248, 2015.

SECCO, R. T.; ACRA, L. A.; CORAIOLA, M. **Regeneração natural em área de corte raso de Pinus taeda L.** Ciência Florestal, v. 29, n. 1, p. 208-220, 2019.

SEMAD - SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Operação Watu - Fase VI,** 2018. Disponível em:  
[http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2019/FISCALIZACAO/Operacao\\_Wat\\_FASE\\_VI\\_Final.pdf](http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/2019/FISCALIZACAO/Operacao_Wat_FASE_VI_Final.pdf)

SILVA, K. A. et al. **A regeneração natural como indicador da restauração ecológica de uma área minerada de bauxita.** Biota, v. 10, n. 4, p. 4-17, 2018.

SIMONELLI, Marcelo et al. **Levantamento do potencial de regeneração natural de florestas nativas nas diferentes regiões do estado do Espírito Santo.** Edifes, 2021.

SIQUEIRA, L. P. **Monitoramento de áreas restauradas no interior do estado de São Paulo, Brasil.** 2002. 116 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SOCIEDADE INTERNACIONAL PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA. **Princípios da SER International sobre a restauração ecológica: versão 2.** Tucson, 2004.

SOUZA, F. M. **Avaliação da regeneração natural em pastagem abandonada.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II.** Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005.

VAN DER PIJL, L. **Principles of dispersal in higher plants.** New York: Springer Verlag, 1982. 215p.

VIANA, V.M.; TABANEZ, A.J.A.; MARTINEZ, J.L.A. **Restauração e manejo de fragmentos florestais.** In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo, SP. Conservação da biodiversidade: anais... São Paulo: Instituto Florestal, 1992. P.400-406.

VOLPATO, M. M. L. **Regeneração natural em uma floresta secundária no domínio de Mata Atlântica: uma análise fitossociológica.** 1994. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

WHITMORE, T. C. **An Introduction to Tropical Rain Forest.** Oxford: Oxford Clearedon Press, 1990.