FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA - UNIR
NÚCLEO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA - NCET
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA - DGEO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO
E DOUTORADO EM GEOGRAFIA

HÉRLON DE MOURA SOARES

AVALIAÇÃO DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL: O CASO DA MINA NOVO MUNDO NO MUNICÍPIO DE ITAPUÃ DO OESTE – RO

PORTO VELHO - RO

2020

HÉRLON DE MOURA SOARES

AVALIAÇÃO DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL: O CASO DA MINA NOVO MUNDO NO MUNICÍPIO DE ITAPUÃ DO OESTE - RO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação Mestrado e Doutorado em Geografia (PPGG) da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Linha de Pesquisa: Paisagem, Processos do Meio Físico e Gestão Ambiental (PMG)

Orientador (a): Prof[a] Dr[a] Adriana Cristina da Silva Nunes.

PORTO VELHO - RO

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Fundação Universidade Federal de Rondônia

Gerada automaticamente mediante informações fornecidas pelo(a) autor(a)

S676a Soares, Hérlon de Moura.

Avaliação da recuperação ambiental: o caso da Mina Novo Mundo no Município de Itapuã do Oeste - RO / Hérlon de Moura Soares. -- Porto Velho, RO, 2020.

105 f. : il.

Orientador(a): Prof.ª Dra. Adriana Cristina da Silva Nunes

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Fundação Universidade Federal de Rondônia

1.Teoria Geral dos Sistemas. 2.Recuperação de Áreas Degradadas. 3.Modelo Ecológico. I. Nunes, Adriana Cristina da Silva. II. Título.

CDU 504.1()811.1

Bibliotecário(a) Luã Silva Mendonça CRB 11/905

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ATA DE DISSERTAÇÃO

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

HERLON DE MOURA SOARES

A Banca de Defesa de Mestrado presidida pela Orientadora e Presidenta **Profa. Dra. Adriana Cristina da Silva Nunes** e constituída pelos examinadores: **Prof. Dr. Antônio Laffayete Pires da Silveira** - Examinador externo – Departamento de Biologia/UNIR e **Prof. Dr. Michel Watanabe** - Examinador interno/PPGG, reuniram-se em **20 de outubro de 2020**, às **9h**, através de **Videoconferência - Google Hangouts Meet** – Link: https://meet.google.com/eic-krnr-sxm, para avaliar a dissertação de mestrado intitulada: ***"AVALIAÇÃO DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL: O CASO DA MINA NOVO MUNDO NO MUNICÍPIO DE ITAPUÃ DO OESTE – RO"*** do mestrando **HERLON DE MOURA SOARES - Matrícula 20171001989**. Após a explanação do pós-graduando e arguição pela Banca Examinadora, a referida **DISSERTAÇÃO** foi avaliada e de acordo com as normas estabelecidas pelo Regimento do Programa de Pós-Graduação em Geografia foi considerada APROVADO. O Candidato terá o prazo de até 90 dias para fazer as correções sugeridas pela banca e entregar as cópias definitivas de sua dissertação, sob pena de invalidação, pelo Colegiado, do processo de Defesa, conforme preceitua o § 3º do artigo 83 do Regimento Interno do PPGG, uma vez que o curso só finaliza com a entrega da Dissertação revisada e a comprovação do cumprimento dos demais créditos, conforme Regimento Interno. ***Este documento tem validade de 90 dias a contar desta data.***

Porto Velho-RO, 20 de outubro de 2020.

Profa. Dra. Adriana Cristina da Silva Nunes
Orientadora/Presidenta

Prof. Dr. Antônio Laffayete Pires da Silveira
Examinador externo – Departamento de Biologia/UNIR

Prof. Dr. Michel Watanabe
Examinador interno/PPGG

Documento assinado eletronicamente por **ADRIANA CRISTINA DA SILVA NUNES**, Docente, em 20/10/2020, às 12:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **MICHEL WATANABE**, Docente, em 20/10/2020, às 12:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **ANTONIO LAFFAYETE PIRES DA SILVEIRA**, Docente, em 29/10/2020, às 23:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.unir.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0518845** e o código CRC **C01384F0**.

HÉRLON DE MOURA SOARES

AVALIAÇÃO DA RECUPERAÇÃO AMBIENTAL: O CASO DA MINA NOVO MUNDO NO MUNICÍPIO DE ITAPUÃ DO OESTE - RO

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

_____

Prof. Dr. Antônio Laffayete Pires da Silveira

Membro Externo

Departamento de Biologia (DBIO/UNIR)

_____

Prof. Dr. Michel Watanabe

Membro Interno

Departamento de Educação do Campo – UNIR campus Rolim de Moura

_____

Suplente: Prof. Dr. Luiz Cleyton Holanda Lobato

Membro Externo

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE

Certificamos o trabalho de conclusão foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre no curso de Pós-Graduação em Geografia da Fundação Universidade Federal de Rondônia.

_____

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

_____

Profª Drª Adriana Cristina da Silva Nunes.

Orientador (a)

Porto Velho - RO

2020

Dedico este trabalho à minha amada família, na qual inspiro minha vida. À querida esposa Renata Cardoso Mendes, minhas duas filhas Nicole de Moura Sence e Valentine Mendes de Moura e aos meus dois enteados Taynara Carolyna Mendes Corá e Gabryel Henryque Mendes Corá, e aos queridos pais Lilian Moura da Silva e Antenor Soares da Silva.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela dádiva da vida e por me permitir realizar tantos sonhos nesta existência e que me conduziu durante esta caminhada acadêmica.

Aos Professores Adriana Nunes e Dorisvalder Dias Nunes pela orientação, competência, profissionalismo e dedicação tão importantes para a realização desta dissertação.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Antônio Laffayete Pires da Silveira, Prof. Michel Watanabe e Prof. Luiz Cleyton Holanda Lobato, que tão gentilmente aceitaram participar e colaborar com esta dissertação.

Ao Programa de Pós-Graduação Mestrado e Doutorado em Geografia da Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR).

Aos colegas da Equipe do Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental (LABOGEOPA), do Grupo de Estudo e Pesquisa em Biologia Experimental (GEPBIOPEX), em especial a Allan Rodrigues Augusto, à Selma Maria de Arruda Silva e a Michel Watanabe pelos questionamentos e discussões sempre tão produtivas.

Agradeço também a todos os meus amigos e parceiros de trabalho: Samir Yussef Maleck, Marcia Regina Longo, Catarina Jacovak, Márcio Rocha Francelino e Taynara Corá, que juntos contribuíram muito para que eu chegasse até aqui nesse momento.

Ao meu pai e a minha mãe deixo um especial agradecimento por todo o amor, educação e compreensão. Sou privilegiado por ter vocês como meus pais.

Agradeço aos meus queridos irmãos, Hécton e Elder, que sempre estiveram à disposição.

À minha amada esposa, Renata Cardoso, por todo amor, carinho, compreensão e apoio em tantos momentos difíceis desta caminhada; obrigado por permanecer ao meu lado durante essa trajetória.

Às minhas princesas Nicole e Valentine, por todo amor incondicional que vocês me dão, vocês são o reflexo da esperança de cada dia da minha vida.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, diretamente ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu profundo e sincero agradecimento.

EPÍGRAFE

As mesmas regiões não permanecem sempre mar ou sempre terra, todas mudam sua condição no curso do tempo.

Aristóteles (384 – 322 A.C)

RESUMO

Em decorrência das inúmeras atividades econômicas que degradam o ambiente, diversos trabalhos e estudos vêm apresentando e propondo alternativas de recuperação e avaliação dessas áreas degradadas. O presente estudo, através de um modelo ecológico, buscou integrar e avaliar a recuperação de área degradada pela mineração de cassiterita no município de Itapuã do Oeste - RO, baseado nos fenômenos que compõem os elementos químicos do solo e biológicos, como a vegetação. Pautado na Teoria Geral dos Sistemas, aplicou-se um modelo ecológico que buscou avaliar o sistema como complexo e dinâmico, no qual o solo é uma das principais condições de estabilidade do terreno. Sendo o terreno um elemento muito sensível, principalmente para o desenvolvimento inicial do sistema, considerou-se o preparo inicial do solo com coquetel de plantas forrageiras da família leguminosas para alavancar a recuperação ambiental. Foi avaliada uma série histórica de 10 anos de análise de fertilidade do componente solo e o desenvolvimento do componente vegetação, assim como o atual estado da área quanto à vulnerabilidade à erosão. Esses componentes possuem grande influência na manutenção da matéria e energia no sistema ou área degradada. Buscou-se ter como referência o ambiente do entorno, Floresta Secundária (Capoeira) e Florestal Primária (Mata), comparando os resultados dos dados levantados em campo e tendo como modelo o Programa de Recuperação Áreas Degradadas (PRAD) implantado na Mina Novo Mundo desde 2005. Notou-se que a preocupação com a recuperação do solo gerou um sistema dinâmico e evolutivo no qual fenômenos de causa e efeito tornaram o sistema capaz de se retroalimentar, o que garante ao sistema a capacidade de internalizar os fluxos. Garantindo a entrada e desenvolvimento das plantas, caracterizado pelo modelo ecológico proposto e pela utilização de tecnologias de geoprocessamento na determinação atual, estado do sistema quanto a vulnerabilidade à erosão. Concluiu-se que os resultados alcançados utilizando o modelo ecológico expressou o grau de complexidade que já existente na Mina Novo Mundo e sua capacidade de suportar o fluxo interno e de manter sua retroalimentação. A proposta desse trabalho é mostrar que as técnicas de recuperação de áreas degradadas pela mineração, utilizando modelos ecológicos, é uma ótima alternativa em PRAD's.

Palavras-chave: Modelo Ecológico. Recuperação de Áreas Degradadas. Teoria Geral dos Sistemas.

ABSTRACT

As a result of the countless economic activities that degrade the environment, several works and studies have been presenting and proposing alternatives for the recovery and evaluation of these degraded areas. The present study, using an ecological model, sought to integrate and evaluate the recovery of an area degraded by cassiterite mining in the municipality of Itapuã do Oeste - RO, based on the phenomena that compose the chemical elements of the soil and biological factors such as vegetation. Based on the General Theory of Systems, it applied an ecological model that sought to evaluate the system as complex and dynamic, where the soil being one of the main conditions of stability of the terrain. Considering terrain as a very sensitive element mainly for the initial development of the system, it was considered the initial preparation of the soil with a cocktail of forage plants of the leguminous family to leverage the environmental recovery. A historical series of 10 years of analysis of fertility of the soil component and development of the vegetation component and the current state of the area regarding vulnerability to erosion was evaluated. These components have a great influence on the maintenance of matter and energy in the system or degraded area. It sought to have as reference the environment of the Secondary Forest (Capoeira) and Primary Forest (Mata) surroundings, buying the results of the data collected in the field, using the Degraded Areas Recovery Program (PRAD) as a model implemented in Mina Novo Mundo since 2005. it is known that the concern with soil recovery generated a dynamic and evolutionary system where cause and effect phenomena made the system capable of feedback, which guarantees the system the capacity to internalize flows. Ensuring the entry and development of plants, featuring the proposed ecological model and the use of geoprocessing technologies in determining the current state of the system regarding vulnerability to erosion. It was concluded that the results achieved using the ecological model expressed the degree of complexity that already exists in the New World Mine and its capacity to support the internal flow and maintain its feedback. The purpose of this work is to show that techniques for recovering areas degraded by mining, using ecological models is a great alternative in PRAD's.

Keywords: Ecological Model. Recovery of Degraded Areas. General Systems Theory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da FLONA do Jamari. 42
Figura 2 - Perfil do rejeito WP. 45
Figura 3 - Organograma metodológico. 51
Figura 4 - Organograma do fluxo para determinar a vulnerabilidade.. 53
Figura 5 - Representação da Equação de Vulnerabilidade. 56
Figura 6 - Escala adotada de vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básica (UTB). 58
Figura 7 - Modelo simplificado de um sistema degradado e seus os componentes. 60
Figura 8 - Gráfico Comportamento da Matéria Orgânica do Solo. 64
Figura 9 - Gráfico Comportamento da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do Solo. 65
Figura 10 - Gráfico Comportamento da Saturação por Bases do Solo (V%). 65
Figura 11 - Gráfico Comportamento do pH. 66
Figura 12 - Gráfico Evolução da Soma de Bases. 67
Figura 13 - Gráfico Evolução da altura da vegetação na Mina Novo Mundo. 69
Figura 14 - Gráfico Incremento da Área Basal na Mina Novo Mundo. 70
Figura 15 - Gráfico Dinâmica da Riqueza de Espécies nas Parcelas. 70
Figura 16 - Gráfico Evolução da Densidade de Regeneração Natural. 72
Figura 17 - Mapa Geomorfológico da área de estudo. 75
Figura 18 - Mapa de Solos da FLONA da Jamari 76
Figura 19 - Mapa Geologia área de estudo. 78
Figura 20 - Mapa de Classe da Vegetação da área de estudo 79
Figura 21 - Mapa de Precipitação da área de estudo. 80
Figura 22 - Imagem Landsat 5 da área de estudo em 2006. 81
Figura 23 - Mapa da área de estudo em 2019. 82
Figura 24 - Mapa das Classes de Cobertura do Solo da área de estudo 83
Figura 25 - Classes de Vulnerabilidade dos Temas da Mina Novo Mundo. 84
Figura 26 - Mapa de Vulnerabilidade da Mina Novo Mundo. 85
Figura 27 - Formação de Horizonte Orgânico da Mina Novo Mundo. 87
Figura 28 - Aspecto da Vegetação na Área em Recuperação da Mina Novo Mundo. 87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição morfológica em rejeito de WP com capeamento 45
Tabela 2 - Pontuação quanto à vulnerabilidade das unidades de paisagem natural 46
Tabela 3 - Agrupamento e peso Geomorfologia 49
Tabela 4 - Agrupamento e peso Solo 51
Tabela 5 - Agrupamento e peso Geologia 54
Tabela 6 - Agrupamento e peso Vegetação 54
Tabela 7 - Estratos das parcelas 53
Tabela 8 - Atributos análise química de fertilidade do solo 54
Tabela 9 - Classes de Cobertura 83

LISTA DE SIGLAS

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

CTC - Capacidade de Troca de Cátions

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral

FLONA - Floresta Nacional

GNSS - Sistema Global de Navegação por Satélite

GPS - Sistema de Posicionamento Global

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

MDT - Modelo Digital do Terreno

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME - Ministério de Minas e Energia

MNT - Modelo Numérico de Terreno

PER - Província Estanífera de Rondônia

PI - Plano de Informação

PRAD - Programa de Recuperação de Áreas Degradadas

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação

UC - Unidade de Conservação

UTB - Unidades Territoriais Básicas

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

WP - *Washing plant*

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO **15**
1INTRODUÇÃO **17**
1.1Justificativa **19**
1.2 Objetivo geral **21**
1.3 Objetivos específicos **21**
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA **22**
2.1 Mineração e Meio Ambiente no Brasil **22**
2.2 Mineração de cassiterita no estado de Rondônia **23**
2.3 Mineração Jacundá na FLONA do Jamari **26**
2.4 Unidades de Conservação (UCs) **27**
2.5 Programa de Recuperação da área degrada da Mina Novo Mundo **28**
2.6 Vulnerabilidade à erosão da Mina Novo Mundo **33**
2.7 Uso de geotecnologia **34**
2.8 Teoria Geral dos Sistemas e Ecossistemas **36**
3CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO **41**
3.1 Floresta Nacional do Jamari **41**
3.2 Características da área de estudo **43**
3.2.1 Clima 43
3.2.2
Solo **43**
3.2.3 Geomorfologia **43**
3.2.4 Geologia **44**
3.2.7 Mina Novo Mundo **44**
4MATERIAL E MÉTODO **46**
4.1 Material **46**
4.2 Metodologia **46**
4.2.1 Coleta e Análise dos Dados da Vegetação **46**
4.2.2 Coleta e Análise dos Dados do Solo **50**
4.2.3 Vulnerabilidade a Erosão **50**
4.2.4 Fonte de dados **56**
4.2.5 Processamento dos dados **56**

4.2.6 Análise dos ecossistemas segundo a Teoria Geral de Sistemas **58**
4.2.7 Componentes do sistema e modelo para avaliar o desenvolvimento do ecossistema após 14 anos de implantação do PRAD 59
5RESULTADO E DISCUSSÃO 62
5.1
Solo.....63
5.2 Vegetação..... 68
5.2.1 Altura Média..... 69
5.2.2 Área Basal..... 69
5.2.4 Densidade 71
5.2.5 Característica Florística e Fitossociológica 72
5.3 Mapas.....74
5.3.1 Mapa Geomorfológico da área de estudo 74
5.3.2 Mapa de Solos da área de estudo..... 75
5.3.3 Mapa Geológico da Mina Novo Mundo..... 77
5.3.4 Mapa de Vegetação da área de estudo..... 78
5.3.5 Mapa de Precipitação da área de estudo..... 79
5.3.6 Mapa da área de estudo em 2006 e 2019. 80
5.3.7 Mapa de Cobertura do Solo da área de estudo 82
5.3.8 Vulnerabilidade Ambiental da Mina Novo Mundo 84
6 AVALIAÇÃO do Sistema da Área de Estudo 88
7CONCLUSÃO..... 90
REFERÊNCIAS..... 92
APÊNDICE A – Listagem das espécies encontradas na área em recuperação. 103

APRESENTAÇÃO

Eu comecei minha vida acadêmica no ano de 2001 ao ingressar no curso de Engenharia Florestal. Em 2016, eu ingressei em duas especializações, sendo Engenharia e Segurança do Trabalho e em Gestão Ambiental. Durante as especializações eu percebi que queria realizar mais um sonho e, foi assim, que decidi ingressar no Programa de Pós-Graduação em Geografia no ano de 2017.

No primeiro momento, podemos entender o meu interesse pelo universo que envolve essa pesquisa retornando ao ano de 2017, ano esse que ingresso no Programa de Pós-Graduação em Geografia ofertado pela Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR), Campus José Ribeiro Filho, Porto Velho - RO. Já no ano seguinte, em 2018, passei por grandes imprevistos em minha vida acadêmica, profissional e pessoal, houve a necessidade de seguir novas direções dentro da pós-graduação e foi quando surgiu a oportunidade de fazer parte do Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental (LABOGEOPA) e do Grupo de Estudo e Pesquisa em Biologia Experimental (GEPBIOPEX), ao qual tenho muito a agradecer pela oportunidade.

Já nessa nova fase, surgiu a ideia de uma nova temática na qual me senti seguro em desenvolver em minha dissertação. A temática surgiu a partir de uma reunião que envolvia professores e pós-graduandos ligados ao LABOGEOPA e ao GEPBIOPEX, reunião esta que lançou luz para um tema que vem ganhando cada vez mais espaço no âmbito da Geografia, sendo a utilização de ferramentas para se avaliar a estabilidade ou processos evolutivos ligados a Recuperação de Áreas Degradadas e seu estado evolutivo, principalmente por áreas mineradas, em especial na região Norte onde está localizado o Bioma Amazônico. Com este novo cenário em minha trajetória acadêmica, a professora Drª Adriana Nunes se dispôs em me orientar e me conduzir nessa pesquisa desafiadora.

Com essa breve explanação de minha trajetória até meu ingresso ao PPGGA, destaco que a área de geotecnologia, através de suas ferramentas, me permitiu realizar esse estudo envolvendo a evolução e a dinâmica ambiental de área que sofreu uma intervenção antrópica profunda para que ocorresse a exploração de cassiterita na Mina Novo Mundo.

O uso dessas ferramentas geotecnológicas tem como base a análise de imagens associada a dados especiais, o que vem acelerando a detecção de mudanças geoambientais de forma a garantir que a tomada de decisão seja mais precisa. Esta associação de recursos, como o Sistema de Informação Geográfica (SIG) com técnicas de geoprocessamento envolvendo

imagens, oferece uma grande gama de possibilidades ainda pouco exploradas no âmbito da avaliação evolutiva das variações da paisagem.

Assim sendo, o presente trabalho foi conduzido em conjunto com o Laboratório de Geografia e Planejamento Ambiental (LABOGEOPA) de modo a elaborar e analisar em ambiente SIG, utilizando dados vetoriais, *raster* e imagem aérea, com o objetivo de realizar uma análise do índice de vulnerabilidade natural de uma área que sofreu impactos ambientais por consequência da exploração mineral de cassiterita. Com o intuito de ampliar as argumentações, foram levantados dados que envolvem aspectos físicos da área em estudo, como fertilidade do solo e estrutura da vegetação, que se desenvolveu no local com a implantação do Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) na Mina Novo Mundo, localizada no interior da Floresta Nacional (FLONA) do Jamari, estado de Rondônia.

A presente dissertação está estruturada por tópicos: no primeiro é apresentada a teoria do tema e a exposição dos objetivos; o segundo apresenta o estado da arte, que fundamenta as referências ao que já se tem descoberto sobre o assunto pesquisado; o terceiro envolve a caracterização dos aspectos físicos da região onde está localizada a área de estudo; no quarto são explicitados os procedimentos realizados para alcançar os objetivos determinados para conclusão da pesquisa; o quinto apresenta os resultados das análises dos parâmetros que compõem um quadro quanto à vulnerabilidade à erosão natural do atual estado da paisagem da área pesquisada; no sexto há uma avaliação do sistema da área de estudo; no sétimo, por fim, a pesquisa é concluída.

Ao elaborar esta pesquisa um dos propósitos que sempre tive em mente é que ela possa contribuir para outros trabalhos científicos e pesquisas acadêmicas.

1 INTRODUÇÃO

Diversas áreas historicamente ocupadas pelos mais variados ecossistemas encontram-se, hoje, em estado de degradação acentuada (BRASIL, 1998). Uma atividade que pode provocar uma degradação profunda, consequentemente provocando um forte efeito perturbador da paisagem é a mineração de superfície, que de forma geral, se faz necessária à remoção da cobertura vegetal, do solo e das rochas para a exploração dos recursos minerais (FONTES, 1991).

A degradação ocorre quando há perdas referentes às características químicas, físicas e biológicas da área em questão (IBAMA, 1990). Segundo Sánchez (2006), a degradação ambiental pode ser dividida em quatro conceitos: a perda de elementos do ambiente; a perda de funções ambientais; as alterações da paisagem; e riscos à saúde e segurança das pessoas.

A área degradada é aquela que, após distúrbios, teve eliminado, juntamente com a vegetação, os seus meios de regeneração bióticos, como o banco de sementes, o banco de plântulas (mudas), a chuva de sementes e a rebrota (ALMEIDA, 2016). Apresentando, portanto, baixa resiliência, isto é, seu retorno ao estado anterior pode não ocorrer ou ser extremamente lento, sendo a ação antrópica necessária (CARPANEZZI *et al*., 1990).

O impacto ambiental pode ser compreendido como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem a saúde, a segurança e o bem estar da população interessada (RESOLUÇÃO CONAMA 001/86).

Nesse sentido, destaca-se a mineração de cassiterita, na qual a exploração é feita a céu aberto e quase que totalmente mecanizada, fato este que contribui muito para a alteração do solo onde se ocorre a mineração. O solo e o subsolo sofrem impactos diretos por consequência das operações oriundas da atividade como escavações, depósitos de rejeitos, depósitos de bota fora e estradas, e com isso o relevo natural, como as serras e picos, sofre alterações profundas (LONGO, 2005).

Nesse contexto, optou-se por realizar uma avaliação da qualidade do Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) desenvolvido na Mina Novo Mundo, localizada na Floresta Nacional (FLONA) do Jamari, município de Itapuã do Oeste, estado de Rondônia. Para tanto, foi avaliado uma série histórica de indicadores ambientais como fertilidade do solo e da estrutura da vegetação, e assim entender sua evolução quanto à vulnerabilidade à

erosividade, assim como uma avaliação geossistêmica do atual estado da Mina Novo após 14 anos de execução do PRAD.

A Floresta Nacional (FLONA) do Jamari é uma Unidade de Conservação (UC) de Uso Sustentável, e por lei é permitido o uso sustentável de seus recursos. Foi criada em 1984, com área estimada em 215.000 há (duzentos e quinze mil hectares); mesmo antes de sua criação já existia exploração mineral, em específico a exploração de cassiterita, tendo continuidade após sua criação. Inicialmente, na década de 1960, a exploração da cassiterita era feita de maneira manual e, a partir de 1970, passou a ser de maneira mecanizada, o que contribuiu para a modificação rápida da paisagem dos pontos de exploração.

Diante disso, se faz necessárias técnicas de intervenções para promover a recuperação, composta por ações que, normalmente, são cronogramas que descrevem essas intervenções, como: terraplanagem, terraceamento, construções de canais, recuperação da fertilidade, reflorestamento e avaliação da evolução de componentes que formam a paisagem no momento.

Na etapa de avaliação das condições da paisagem, a utilização de ferramenta de integração dos dados possibilita a realização da área quanto a seu estado no que se refere à vulnerabilidade à erosão, através do conjunto parâmetros ambientais que estão ligados à área que forma a Mina Novo e como o processo de recuperação melhorou o ambiente após a exploração mineral.

De acordo com Rosa (2005), as geotecnologias são compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware*, que juntos constituem poderosas ferramentas para tomada de decisões. Dentre as geotecnologias destaca-se: Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e a Topografia. Tais ferramentas permitem o uso de banco de dados para armazenar e/ou recuperar informações, desta forma, interage várias disciplinas e têm como resultado a geração de informações espaciais como mapas digitais georreferenciados (ROCHA, 2000; DALL'IGNA, 2005; CÂMARA *et al*., 1996; SILVA; MANIESI, 2005; CHELLY; MANIESI, 2008). Uma das grandes vantagens do seu uso é a flexibilidade, podendo ser ajustada conforme os projetos e os fenômenos avaliados da escala de trabalho (MARCELINO, 2008).

Como já destacado anteriormente, a área de estudo está inserida na FLONA do Jamari e possui o nome de Mina Novo Mundo, o método utilizado para a execução da exploração foi o *washing plant* (WP), esse método se caracteriza por não necessitar de construção de grandes barragens para depósito de rejeito, uma vez que a própria cava é

preenchida pelo rejeito gerado pela mina. O início da exploração da citada mina foi em 1980, com paralisação dos processos exploratórios em 1987; se tratava de uma lavra a céu aberto e a área diretamente afetada pela mineração foi de 31,73 ha — para a determinação da área não se considera a lâmina d'água.

Com o objetivo de minimizar os impactos adventos da atividade e compreender a dinâmica e a estrutura dessas áreas afetadas e que sofrem processos de recuperação, vêm sendo desenvolvidos diversos trabalhos e relatórios ambientais que visem integrar os fenômenos naturais em conjunto com a ação humana. Partindo dessa premissa, a Teoria do Geossistema busca identificar e especializar os sistemas complexos e integrá-los a outros subsistemas. Este método vem evoluindo desde os anos sessenta e, desde então, busca contribuir para uma evolução científica, assim como apresentar de forma conjunta e conexa diferentes especificidades e escalas (CARVALHO, 2011).

1.1 Justificativa

Quando comparada a extensão das áreas degradadas por mineração junto a outras atividades percebe-se que esta não ocupa grandes porções, e possui, de modo geral, uma degradação localizada (AUMOND, 2007). Cabral *et al*. (2002) verificou que o território brasileiro possui 200 milhões de hectares de áreas degradadas, destas as áreas de cultivo agrícola e pastagem ocupam 69% delas; já as áreas afetadas por mineração representam 1,2%.

Destarte, o que chama a atenção quanto à degradação por mineração são os efeitos e danos drásticos ao ambiente, já que a mineração normalmente não degrada somente a área de exploração, mas também pode afetar o seu entorno, uma vez que fazem necessárias áreas de empréstimo em uma mina e depósitos de rejeitos, intervenções que podem provocar alterações severas nos corpos da água, no solo, no subsolo e nos elementos que compões o ambiente de modo geral (DIAS, 1998; KOBIYAMA; MINELA; FABRIS, 2001).

Os primeiros registros do minério cassiterita no estado de Rondônia datam de 1955, sendo explorada de forma artesanal por garimpeiros até o surgimento da Portaria n° 195, de 15 de maio de 1970, a qual proibia exploração da cassiterita por garimpo (DALL'IGNA, 1996).

Até a década de 1950 a economia da região de Porto Velho, capital do estado de Rondônia, se baseava no extrativismo da borracha e da castanha. Já no final da década de 1950 os extrativistas começam a migrar para o garimpo de cassiterita. Em 1964 são

concedidas as primeiras concessões de direto de lavra, momento este em que surgiu a Mineração Jacundá, em 1969 surge à mineração Santa Barbara, e assim vieram outras minas como Potosi, Caneco e Novo Mundo, hoje localizadas no interior da FLONA do Jamari (DALLIGNA, 1996). Vale destacar que o surgimento dessas minas são anteriores à criação da FLONA do Jamari (IBAMA, 2005).

Em conjunto à exploração de cassiterita em Rondônia, o estado entra em uma fase de ocupação intensa, estimulada pelos programas de desenvolvimento econômico da região amazônica. A justificativa foi o desenvolver as regiões consideradas isoladas ao norte do Brasil (KOHLHEPP, 2002).

Já nos anos 1970, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) dá início aos "Programas de Colonização", tendo por finalidade controlar e planejar uma reforma agrária na região amazônica. Dentre os projetos pode-se destacar o Programa de Integração Nacional (PIN), que previa a abertura de rodovias federais, assim como incentivos à ocupação através de assentamentos promovidos pelo INCRA próximos a essas rodovias (BECKER, 1998). Para Ott (2002) esses incentivos à ocupação da região possui um viés ideológico que se pautava no contexto da segurança nacional, deixando evidente a intenção de integrar a Amazônia ao restante do Brasil — simbolizado pelo slogan "integrar para não entregar".

Outra vertente na qual os programas se apoiavam era o fato de que o Estado de Rondônia possuía todas as características favoráveis para receber populações rurais do Sul e Sudeste do país, que já não se enquadravam ao processo de modernização da agropecuária nessas regiões. Passava a ser necessário, então, alocar populações excedentes, expulsas das zonas rurais tradicionais do sul e sudeste pela modernização do setor agrícola voltado para produtos exportáveis (COY, 1988). Para Becker e Egler (1997), os impactos ambientais e sociais por consequência deste processo migratório ficam evidentes no estado de Rondônia, como as altas taxas de perda de vegetação nativa e de conflitos por terras.

A pavimentação da BR-364, financiada pelo Banco Mundial, foi sancionada pelo instrumento legal Decreto-Lei nº 86.029, no qual foi nomeado de Programa de Desenvolvimento Integrado para o Noroeste do Brasil (POLONOROESTE), potencializando esses impactos através da chegada de um número grande de pessoas que se alocaram às margens da BR, garantindo também o escoamento da produção de cassiterita e, assim, favorecendo uma exploração industrial (DALL'IGNA, 2015).

Até os anos 1970, FLONA do Jamari e seu entorno não sofria com processos de antropização, já no início dos anos 1980 as porções norte e leste apresentam sinais de ocupação do seu entorno e no interior começa a evidenciar sinais de áreas antropizadas pela exploração de cassiterita na FLONA do Jamari (DALL'IGNA, 2015).

Como propostas, este trabalho avaliou o Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) executado na Mina Novo Mundo que contribuíram para uma análise dos componentes da paisagem como vegetação, solos, geomorfologia, clima e geologia. Tendo também como base a Teoria Geral dos Sistemas, conforme apresentada por Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) no século XX. Bertalanffy difundiu com estudos voltados para Teoria Geral dos Sistemas que todo e qualquer sistema é composto por pequenas partes de um todo que se interagem e são dependentes um do outro, com isso provou que o homem é parte importante integrante da natureza (FERREIRA, VIEIRA; JANSEN, 2001).

1.2 Objetivo geral

Analisar uma área degradada por mineração de cassiterita na Amazônia Sul Ocidental após a implantação do Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD).

1.3 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram pautados da seguinte forma:

- Avaliar a evolução da cobertura vegetal com melhoria do solo degradado entre os anos de 2010 a 2019;
- Avaliar a melhoria da fertilidade do solo com a implantação do PRAD entre os anos 2010 a 2019;
- Determinar a vulnerabilidade natural à erosão da Mina Novo Mundo;
- Realizar uma análise geossistêmica da área em processo de recuperação ambiental.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Mineração e Meio Ambiente no Brasil

A afirmativa de que a gestão ambiental é um campo de conflito sustenta-se? A epistemologia mostra que a racionalidade e a veracidade do conhecimento científico só são compreensíveis no interior do paradigma em que se acolhem, pois é este que proporciona o quadro de sentido a todas as práticas científicas no seu âmbito. Isto significa, continuando no seguimento paradigmático de Thomas Kunh, que a descrição de um fenômeno, pela sua integração num dado quadro de sentido, é explicativa na medida em que essa identificação ajuda a resolver uma questão (CHAGAS, 2010).

A preocupação com a reflexividade do que é o universo científico das ciências sociais e das ciências naturais, campos que ancoram os fundamentos teóricos dos conflitos socioambientais, tem um entendimento há seu tempo e cenário de que os conflitos são ajustes para formação social, gestão ambiental e interesses econômicos, submetidas aos desafios da modernidade contemporânea (CHAGAS, 2010).

Neste contexto, surgem os territórios minerados, alavancados pelos processos que envolvem as dinâmicas que circundam questões oriundas da globalização, na qual em muitos casos determina à sociedade uma necessidade de se acumular bens materiais que por vezes tem origem através dos recursos minerários; o que pode acarretar de forma negativa o equilíbrio ambiental, nas relações socioeconômicas. Sabendo que os recursos minerários são normalmente explorados pontualmente, e que se trata de recursos não renováveis, em muitos casos é transferido para o futuro o reflexo negativo quanto aos danos; principalmente no momento de fechamento das minas, podendo ser por esgotamento da mina, falência do grupo administrador ou manobras especulativas (FERNANDES; LIMA; TEXEIRA, 2007).

Em meio a este cenário, é comum observar, em virtude das formas de comunicação que envolve a *internet*, a evidência de muitos conflitos pelo mundo envolvendo o tema mineração e, de certa forma, revela os impactos sociais, ambiental e econômico oriundos da atividade de exploração minerária (FERNANDES, ARAUJO, 2016).

É evidente que a mineração no Brasil possui sua importância tanto econômica quanto histórica, tendo forte influência social e política em todos os períodos políticos pelo qual o Brasil passou: Colonialismo entre os anos de 1500 a 1822, Império entre os anos 1822 a 1888 e República entre os anos 1889 até a atualidade. A mineração sempre foi tratada como

atividade de interesse público, uma vez que envolve diversos impactos, e junto com o agronegócio é tratada como estratégica para a retomada econômica, pois contribui muito no Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil (FERNANDES, ARAUJO, 2016). Fato este que se torna evidente no Plano Nacional de Mineração (PNM) de 2011, no qual se estima R$ 350 bilhões em investimentos em 20 anos, com prospecção até cinco vezes o aumento da produção; cenário este que é aquecido pela crescente demanda nacional e internacional (BRASIL, 2011).

A mineração nos mais de 500 anos do Brasil gerou muitos problemas ambientais, além dos conflitos socioambientais no que se referem à população original dos locais afetados, problemas estes que vão desde poluição a conflito de interesses. Uma equipe do Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) elaborou um banco de dados com informações sociais, ambientais e econômicas no qual é possível observar os diversos conflitos, que em muitos casos envolvem minas abandonadas que se tornam fonte de contaminantes e de degradação. Um exemplo de contaminação por consequência da exploração pode ser observada em algumas minas antigas que realizavam a exploração de ouro, geralmente associada ao arsênio, altamente tóxico, e que foram abandonadas nos estados de Minas Gerais, Goiás e Bahia, onde as águas do subsolo encontram-se contaminadas (ARAUJO, OLIVIERI, FERNANDES, 2014).

No contexto da exploração em grande escala, mega projetos de mineração no território da Amazônia envolve grandes multinacionais e pode-se destacar: a extração de minério de ferro da Mineração Carajás em 1967; bauxita no Vale do Trombetas no estado do Pará; cassiterita de Pitinga, estado do Amazonas; e o manganês da Serra do Navio, no estado do Amapá (LINS, LOUREIRO, ALBUQUERQUE, 2000).

2.2 Mineração de cassiterita no estado de Rondônia

Podemos traçar como contexto histórico da exploração de cassiterita no estado de Rondônia alguns marcos temporais. O primeiro marco temporal se dá no período da Segunda Guerra Mundial: a criação do Território Federal do Guaporé, hoje estado de Rondônia. Neste momento o Brasil fez um acordo com os Estados Unidos, conhecido como o Decreto “Batalha da Borracha”, em conjunto o governo do Brasil enviava trabalhadores para extração de látex vegetal na Amazônia, estes conhecidos como “Soldados da Borracha”, e enviava também soldados aos campos de batalha da Europa (SANTOS, 2014).

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, no ano de 1945, houve a decadência da exploração do látex vegetal, com isso, muitos desses trabalhadores que, de modo geral, eram nordestinos denominados “Soldados da Borracha”, migraram para a exploração de cassiterita. Contribuindo, então, para uma nova imigração de nordestinos ao território amazônico para trabalhar na extração dessa matéria prima do estanho (LIMA, 2011).

Outro marco temporal no que se refere à exploração de cassiterita no estado de Rondônia foi a portaria Ministerial nº 195/701, de 31 de Março de 1971, expedida pelo Ministério de Minas e Energia, proibindo a garimpagem manual. As justificativas para o ato foram o baixo aproveitamento e inviabilização de tecnologia, a lavra mecanizada geraria mais empregos e teria uma produção organizada. Para muitas pessoas esta medida visava atender interesses de grupos nacionais, multinacionais e do governo. Assim, o potencial para produção de cassiterita se evidencia com a criação da Província Estanífera de Rondônia.

Com a citada medida, o governo se encontrava em meio a um conflito social, uma vez que os garimpeiros eram de baixa escolaridade e grande parte das reservas de cassiterita se encontrava em seringais, desta forma se fazia necessário à inclusão das pessoas envolvidas na atividade garimpeira (SANTOS, 2014).

Não é o intuito deste trabalho o tema “Soldado da Borracha”, contudo, vale ressaltar que uma parte da história envolvendo a cassiterita no estado de Rondônia se cruza com esses soldados, o que torna a leitura sobre o assunto agradável e consequentemente nos faz admirar essas pessoas.

Após a Segunda Guerra Mundial, a cassiterita ganha importância na nova configuração econômica, pois um cenário político ganha uma Nova Ordem Mundial, conhecida como a corrida armamentista, que dividida entre Estados Unidos e União Soviética, passa a ser chamada de Guerra Fria (HOBSBAWM, 2005).

A partir deste cenário, o Brasil investe na instalação de indústria de base, os exemplos são o surgimento da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e da Petrobras. Nesse momento o estado de Rondônia passa também por certa euforia e otimismo após a estagnação econômica devido à decadência da exploração do látex vegetal. A cassiterita passa a ganhar destaque e importância para o Território nos anos 1960, ficando evidente pela quantidade de geólogos que rondavam a região nesta época, na qual ocorrem choques de culturas e de relação com o trabalho, uma vez que os soldados, ribeirinhos e indígenas (que já havia contato com o “homem branco”) possuíam uma relação diferente com o trabalho quando comparado com os desejados pelas empresas representadas pelos geólogos (SANTOS, 2014).

Quando é lançada luz na região onde hoje se encontra a Floresta Nacional do Jamari, município de Itapuã do Oeste, alguns seringalistas se unem para criar a Mineração Jacundá no início dos anos 1960, mas usavam métodos de operações rudimentares.

Nos anos 1970, devido a essa forma de baixo rendimento, os seringalistas responsáveis pela Mineração Jacundá sofrem pressão para implantar métodos mais tecnológicos. Neste período a empresa Brascan adquire 60% do capital social da mineração, passando a ter o controle, desta forma o Território de Rondônia passa a cobrar o recolhimento de impostos, efetivar a fiscalização governamental, e cobra salário fixado conforme a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT) (SANTOS, 2014).

Dando continuidade ao contexto histórico na região de Itapuã do Oeste, mais especificamente onde hoje se encontra a FLONA do Jamari, destaca-se a Mineração Jacundá, que se desenvolve a partir da iniciativa de ex-exploradores de forma manual de látex que migram para o garimpo de cassiterita; este cenário muda quando a multinacional Brascan passa a gerenciar a mineração em destaque, tanto em intensidade quanto em volume de produção de minério. A empresa se apropria de crenças religiosas e alguns costumes são incorporados ao calendário da empresa para garantir a mão de obra operária, isso fica evidente por meio dos relatos de moradores antigos da região sobre os festejos em devoção a São Sebastião e Santa Bárbara.

Com todas as variáveis legais, culturais e operacionais a favor da empresa, a região ganha na produção de cassiterita, o que faz com que as minas ganhem muitos investimentos. A partir de década de 1990 começa a decadência da mineração de cassiterita, o que também atinge a Mineração Jacundá. O principal motivo desta decadência foi gerado pela quebra da cassiterita no mercado internacional. Por consequência eminente a qualquer atividade de exploração mineral em grande escala, muitas áreas antes floresta acabaram se tornando degradadas, não sendo diferente na FLONA do Jamari.

Convém explicar que a crise que se abateu no mercado naquela época foi provocada pelos grandes estoques mundiais de estanho, e agravada pelo excesso de oferta diante da demanda retraída. Paradoxalmente, mesmo em desacordo com essa conjuntura, os preços eram mantidos artificialmente elevados por força de estratégia operacional do *International Tin Council* (ITC) — entidade de produtores e consumidores mundiais de estanho que tinha como objetivo administrar um acordo entre seus membros para controlar o fluxo das trocas internacionais — visando à manipulação do mercado, comprando os excedentes de produção e forjando um falso equilíbrio da oferta/demanda com o intuito de sustentar alta a cotação do

metal. Esgotada a capacidade financeira do ITC para continuar “enxugando” a oferta e a consequente falência de seu mecanismo regulador, imediatamente o estanho deixou de ser cotado na Bolsa de Metais de Londres (LME), tornando transparente a dimensão dos elevados estoques em poder do ITC, dos bancos e dos consumidores. Com efeito, os preços despencaram para o patamar de realidade do mercado, qual seja, de US$ 12.000/t para ao redor de US$ 6.000/t, em pouco tempo. Ademais, com o impacto da crise, muitas empresas fecharam em todo o mundo e, no Brasil, várias frentes de lavra foram paralisadas. Em decorrência, prevalecia a opinião de que a indústria do estanho teria que se adaptar à nova realidade na qual os preços não voltariam mais aos níveis elevados dos anos anteriores, sendo necessário trabalhar com outro referencial realista, mais baixo, estabelecido pelas forças de mercado (RODRIGUES, 2001).

Com o advento das descobertas de novas jazidas ocorreu uma superprodução e até mesmo a mudança na forma de consumo, corroborando para que o estanho caísse de preço no mercado externo e interno, uma vez que se trata de uma *commodity*. Havendo uma redução de frentes de lavras, empresas saíram do mercado e empregos foram reduzidos, diversas áreas degradadas foram abandonadas (SANTOS, 2014).

2.3 Mineração Jacundá na FLONA do Jamari

Para contextualizar a história da exploração de cassiterita na região onde se encontra a Floresta Nacional do Jamari é importante destacar que a mesma está diretamente ligada à *Mineração Jacundá Ltda*, criada em 1960 através da iniciativa e união de alguns seringalistas juntos a um empresário de Manaus — vale lembrar que já existia exploração de cassiterita na região, mas de maneira irregular, sem as autorizações necessárias para a época.

Como os donos da Mineração Jacundá eram seringalistas, existia a falta de recursos financeiros para lidar com a nova forma de relação de trabalho entre os seringueiros, agora garimpeiros, e os garimpeiros de ofício. Somados à falta de certeza quanto à reserva de minério e ao risco da atividade, os ex-seringalistas tinham dificuldades em aumentar a produção de cassiterita e com isso viram a necessidade de vender os direitos minerais da Mineração Jacundá (SANTOS, 2014).

Após a aquisição por parte da empresa CESBRA sobre o comando da Mineração Jacundá, a produção de cassiterita evidencia uma aumento impreciso na produção de estanho pelo Brasil, passando de menos 1% da produção mundial nos anos 1970 para 17,85% da

produção de todo o mundo nos anos 1980, este crescimento no cenário internacional se deve muito as reservas de cassiterita encontradas e exploradas nos estados do Amazonas e Rondônia (SNIEE, 2009).

Com isso são instaladas nove Minas de Cassiterita no interior da FLONA do Jamari, sendo elas: Mina Duduca; Mina Santa Maria; Mina Potosi; Mina Serra da Onça; Mina Poço B; Mina Novo Mundo; Mina Serra da Cacimba; e Mina 14 de Abril. Todas subsidiadas pela CESBRA, deixando claro, assim, o grande potencial minerário que a região possui para produção de cassiterita.

Um cenário desfavorável a partir de 1989, influenciado pelo excesso de cassiterita no mercado junto ao aumento de minas sendo exploradas, as mineradoras de cassiterita, o que não foi diferente para a Mineração Jacundá, sofreram um processo rigoroso de decadência financeira (RODRIGUES, 2001).

Como resultado de décadas de exploração mineral no interior da FLONA do Jamari, deram-se os surgimentos de diversas áreas degradadas, como no caso da Mina Novo Mundo que vem sofrendo intervenções a fim de minimizar os impactos desde o início dos anos 2000, mas de maneira experimental. A partir de 2005 houve o envio da primeira versão do PRAD aos órgãos licenciadores e gestores da unidade, após esse PRAD a recuperação ambiental da mina passou a ter um caráter metodológico definido. Porém, apenas em 2009, após alguns reajustes, o PRAD foi considerado adequado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (BRASCAN, 2009a).

2.4 Unidades de Conservação (UCs)

As Unidades de Conservação (UCs) são áreas ou espaços protegidos por lei**.** Para a criação das UCs se faz necessário que as mesmas possuam características singulares que sejam relacionadas aos recursos naturais, à fauna, à flora ou até mesmo à beleza cênica e valor cultural do local (BRASIL, 2000).

A criação das UCs pode ser feita tanto na esfera federal, quanto estadual ou municipal. Sendo regulamentado através da Lei Federal nº 9.985, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), esse sistema constitui um conjunto de UCs divididas em dois grupos: as de proteção integral e as de uso sustentável (BRASIL, 2000). A FLONA do Jamari está inserida no grupo das Unidades de Conservação de Uso Sustentável e

sua administração é feita pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

As UCs têm como objetivos: proteger e conservar as espécies em risco de extinção; preservar e restaurar os recursos e os ecossistemas naturais; valorizar a diversidade biológica desses espaços; promover o desenvolvimento sustentável e atividades de caráter científico. Além disso, a população tradicional que ocupa a área desde sua criação pode permanecer nela, desde que esteja em conformidade com o disposto no Plano de Manejo da Unidade (BRASIL, 2000).

2.5 Programa de Recuperação da área degrada da Mina Novo Mundo

O processo de recuperação de áreas degradadas pode ser compreendido de diversas maneiras, dependendo do objetivo que se deseja alcançar e dos critérios que se utiliza para avaliar se determinado ambiente está ou não sendo recuperado.

A maioria dos projetos com tal objetivo não obteve sucesso, principalmente pela dificuldade das espécies climáticas se estabelecerem sobre os solos degradados, o que poderia levar algumas décadas ou nunca acontecer. Florestas tropicais secundárias que regeneraram espontaneamente sobre áreas com degradação “moderada” demoram pelo menos 25 anos para atingir uma estrutura da vegetação semelhante à de uma floresta madura e, pelo menos, 80 anos para restituir sua composição florística (FINEGAN, 1996). Na Amazônia Central florestas secundárias regenerando sobre áreas levemente degradadas podem ficar estagnadas em estágios iniciais de sucessão e podem nunca restituir espontaneamente a composição florística das florestas originais (MESQUITA *et al*., 2001).

Assim, com a evolução teórica e metodológica da restauração ambiental, pode-se compreender que existem múltiplas trajetórias de sucesso possíveis e que as atividades de recuperação de áreas degradadas devem ser focadas na restauração de processos ecológicos e não na “recriação” de um modelo de comunidade vegetal (RODRIGUES *et al.*, 2009).

De acordo com Kageyama *et al*. (2003), a restauração ecológica é a ciência prática da arte de assistir e manejar à recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e no funcionamento dos processos ecológicos, considerando seus valores ecológicos, econômicos e sociais.

Essa visão do processo de recuperação de áreas degradadas está também prevista na Legislação Ambiental brasileira. A Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que regulamenta o artigo 225, parágrafo 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, define recuperação como "a restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original".

Dessa forma, o pensamento e as práticas atuais visam à restauração dos processos e não somente da estrutura dos sistemas, assim como resgatar a sua resiliência de modo a garantir que os processos de sucessional ecológica aconteçam. Esses processos incluem o desenvolvimento dos indivíduos até completar seu ciclo de vida, suportando a entrada espontânea dos elementos que compõem o sistema da paisagem, assim ocorrendo substituição de espécies pioneiras por espécies de estágios sucessionais mais avançados, o uso do sistema pela fauna nativa, a dispersão de sementes, a formação de serapilheira, ácidos húmicos e de banco de sementes, a recuperação da fauna do solo e regulação do ciclo de nutrientes, além de funções como fotossíntese, sequestro de carbono e proteção do solo contra raios solares e enxurradas.

Assim sendo, existe um relativo consenso de que uma área pode ser considerada recuperada quando a vegetação pode evoluir para estágios mais complexos sem depender mais de *inputs* externos de origem antrópica, ou seja, capina, adubação, plantio de mudas, entre outros. Entretanto, a definição de critérios para se avaliar se o sistema já não depende mais de intervenções externas é um assunto amplamente discutido no meio acadêmico no mundo todo e ainda não é algo totalmente resolvido (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004; RUIZ-JAEN; AIDE, 2005; GRANT, 2006).

A vegetação do ambiente original deve servir como referência, principalmente para orientar a avaliação da diversidade de espécies e parâmetros estruturais da vegetação, mas não deve ser o único parâmetro utilizado. Além dos processos ecológicos ligados à vegetação, mostra-se fundamental que durante a recuperação ambiental sejam avaliados também os processos ligados à fauna associada às áreas em recuperação e às características químicas, físicas e biológicas do solo e da água. A avaliação integrada desses parâmetros fornece subsídios muito mais robustos para a avaliação do estágio de recuperação de áreas degradadas, e permite ações mais direcionadas e efetivas no sentido da recuperação do sistema como um todo.

Um aspecto importante que deve ser levado em consideração é o solo, pois este está ligado aos fatores que influenciam nos processos erosivos, principalmente quando interferem

nas definições das unidades ambientais de forma significativa (BECKER; EGLER, 1997). Um solo degradado implica na redução da capacidade produtiva, resultante do uso intensivo, causando mudanças e promovendo alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas.

A mineração de superfície é, em geral, uma atividade que pode provocar uma degradação intensa, tendo um forte efeito perturbador na paisagem, pois requer a remoção da vegetação, do solo e das rochas que estejam acima dos depósitos minerais (BATISTA; LEITE, 1997). O processo de mineração proporciona uma desfiguração do terreno e uma completa alteração da paisagem, essas alterações da superfície manifestam-se de forma mais evidente no aspecto estético pelos elementos visuais da linha, forma, textura, escala e da cor que compõem a complexidade da paisagem (SOUZA, 1997). Consequentemente, causam impactos topográficos, edáficos, vegetativos e hídricos na área de influência direta do empreendimento.

Ainda que em relevos suaves, substratos degradados ficam sujeitos a processos erosivos que comprometem de forma negativa a dinâmica do ecossistema. O método de extração de cassiterita, feito a céu aberto, empregado no processo de lavra da área em estudo foi, em geral, mecânico, utilizando-se de vários equipamentos. Essas alterações decorrem não somente do processo de lavra, mas de todas as operações que antecedem ou sucedem a retirada do minério. Portanto, os impactos diretos no solo e no subsolo são causados pelas escavações, pelos depósitos de materiais estéreis e rejeitos, pelas estradas de acesso, pela imposição de superfícies diferentes do relevo original e pela eliminação de picos e serras. Quando se fala em recuperar solos degradados consideram-se áreas em que o mau uso e/ou o uso destas como áreas de empréstimo as colocou em um estado de degradação, tal que a fixação da vegetação é muito lenta ou muitas vezes até mesmo impedida (ALVARENGA; SOUZA, 1997). A reabilitação dessas áreas constitui uma sucessão de ações caracterizadas pela intervenção humana e vultosos gastos de energia, envolvendo, usualmente, ações dispendiosas (BROW; LUGO, 1994).

Um aspecto de suma importância na recuperação de áreas degradadas pela mineração é o conhecimento do solo ou do substrato no qual essa recuperação tem que ser conduzida. Os procedimentos específicos na recuperação dessas áreas dependem essencialmente das propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas do solo ou substrato que deverá apresentar mínimas condições adequadas para o desenvolvimento da paisagem (FONTES, 1991).

A perda de matéria orgânica constitui um dos principais problemas na recuperação de áreas degradadas no Brasil. O armazenamento e a reutilização da camada fértil do solo (*topsoil)* produzem excelentes resultados, porém, a maioria das mineradoras considera essa técnica dispendiosa e difícil em razão da pouca profundidade dessa camada nos solos tropicais ou da acentuada declividade do solo em diversas minas.

O plantio de leguminosas arbóreas de acelerado crescimento, capazes de formar uma rápida cobertura vegetal tem se mostrado uma prática eficiente. A maioria dessas espécies, abundantes e diversificadas no Brasil, produz grandes quantidades de biomassa e o aporte de matéria orgânica folhosa por elas promovida contribui significativamente para o incremento de carbono e nutrientes ao solo (GRIFFITH *et al*., 1996).

Pelas alterações impostas às características físicas, químicas e biológicas do solo, o processo de recuperação ambiental é dificultado, sobretudo, em decorrência de um ou mais problemas, tais como: níveis tóxicos de metais, altas concentrações de sais solúveis, valores extremos de pH, deficiências nutricionais, baixa taxa de infiltração de água, alta temperatura na superfície, baixa capacidade de troca de cátions dos solos, atividade biológica restrita e baixa retenção de água (IBAMA, 1990; SILVA, 1992; FOX, 1994). Segundo Oliveira (1995), esses fatores contribuem para a degradação do solo, pois ocasionam várias consequências negativas na paisagem como a compactação do solo, encrostamento, baixa capacidade de infiltração de águas, problemas relacionados à aeração, erosão acelerada, perda de fertilidade natural e alterações nas populações microbiológicas. Por outro lado, substratos degradados, muito grosseiros (arenosos e cascalhentos) promovem baixa capacidade de retenção de água e nutrientes, sendo muito lixiviáveis e excessivamente drenados. Com isso áreas, como à área de estudo, poderiam não ter capacidade de suporte para as plantas de porte arbóreo, mas espécies de gramíneas normalmente mais agressivas (colonião, braquiária, entre outras) podem colonizar a área (RODRIGUES, 2005).

Processos ou programas de recuperação ambiental podem ser definidos como um conjunto de ações idealizadas e executadas por especialistas de diferentes áreas do conhecimento humano que visam proporcionar o restabelecimento de condições de equilíbrio e sustentabilidade da paisagem (DIAS; GRIFFITH, 1998). O inter-relacionamento das diferentes áreas do conhecimento humano passa a ser um ponto de grande importância na execução desses estudos.

Para o IBAMA (1990), a recuperação ambiental significa que o sítio degradado será retornado a uma forma de utilização de acordo com o plano preestabelecido para o uso do

solo; implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Além disso, o sítio degradado teria condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico evolutivo desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem.

Partindo das primícias acima mencionadas, o PRAD desenvolvido para a Mina Novo Mundo teve como parâmetro os aspectos da extração do minério; o método de exploração é conhecido como "planta flutuante" ou "*washing plant*", normalmente é utilizado em jazida plana e pouco profunda, e a área é mantida inundada para a flutuação da planta (BRASCAN, 2009a). Assim, uma máquina escava o terreno à frente da planta flutuante, alimentando-a com solo diretamente, e a planta lança os rejeitos na parte imediatamente posterior, e segue em avanço contínuo. Através do método *washing plant* se observa que o solo sofre menor desestruturação que em outros, como desmonte hidráulico ou desmonte seco, pois as frações argilosa e arenosa são depositadas uma sobre a outra, mantendo parcialmente as características do solo original (BRASCAN, 2009a).

Algumas ações de recuperação na Mina Novo Mundo ocorreram a partir da década de 1990, quando a CESBRA iniciou o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), aprovado pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Rondônia. O PRAD previa apenas o plantio de mudas de espécies florestais nativas e/ou exóticas, de diferentes estágios sucessionais e sem qualquer atenção à recuperação da estrutura e fertilidade dos solos. Como resultado, estas áreas permaneceram por anos sem cobertura vegetal, pois as mudas apresentaram elevada mortalidade e taxa de crescimento praticamente nulo.

A partir do ano 2000/2001, a CESBRA passou a apoiar pesquisas com algumas instituições, como a Universidade Estadual Paulista (UNESP) e a Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), e, a partir deste momento, o programa de recuperação passou a ter como objetivo primordial recuperar o solo/substrato com o uso da adubação verde, orgânica e química, anteriormente ao plantio de mudas. Em conjunto foram realizados estudos para a seleção de espécies vegetais adaptadas às condições locais (BRASCAN, 2009a).

A recuperação da Mina Novo Mundo foi realizada em três etapas principais: primeiro foi realizado o zoneamento ambiental da área a fim de definir as estratégias de recuperação necessárias; posteriormente foram realizadas ações de recuperação do solo/substrato; em seguida o plantio de mudas. O zoneamento ambiental foi feito levando em consideração as características da área, como histórico da degradação, tipo de solo/substrato, topografia, tamanho da área, grau de isolamento da floresta nativa, entre outros.

O PRAD da Mina Novo Mundo basicamente seguiu os passos abaixo listados (BRASCAN, 2009a):

- Recomposição topográfica;
- Eliminação dos fatores de degradação (Exemplos: contenção de erosão e controle de espécies invasoras);
- Melhoria da qualidade química do solo através de calagem e aplicação de adubo químico e orgânico;
- Plantio por 03 anos de coquetel de plantas da família leguminosas (Crotalária, Mucuna Preta, Feijão Guandu) por semeadura direta;
- Plantio de mudas de espécies arbóreas pioneiras — nesta etapa vale destacar que foram utilizadas tanto espécies nativas como exóticas com o intuito de cobrir o solo o mais rápido possível, mas com o passar do tempo plantas exóticas foram retiradas;
- Plantio de mudas de espécies atrativas da fauna;
- Enriquecimento com plantio de espécies arbóreas não-pioneiras.

2.6 Vulnerabilidade à erosão da Mina Novo Mundo

Os processos erosivos são um dos principais problemas ambientais, pois causam uma significativa perda do solo no que refere a capacidade produtiva (GUADAGNIN *et al*., 2005; KAGEYAMA *et al*., 2003) e, consequentemente, emitindo carbono na atmosfera (FEARNSIDE, 2010). A erosão pode ocorrer de forma natural ou decorrente de uma ação antrópica, dependendo das interferências ao meio físico. Segundo Dall'igna (2005), às áreas que apresentam vulnerabilidade natural à erosão após análise, fazem-se necessário sua preservação, seu monitoramento e ações especiais. Isso envolve o uso e a ocupação do solo da região de forma criteriosa, levando em consideração as classes de vulnerabilidade identificadas.

A erosão hídrica, seja laminar, em sulco ou ravinas em decorrência da chuva, é o principal motivo da erosão no solo. O termo que se refere à capacidade de um solo resistir à erosão é erodibilidade; característica de um determinado solo em função das características internas ou intrínsecas desse solo, como a mineralógica e a granulométrica, características físicas e químicas, e condições externas que são atribuídas à superfície do solo e tem relação com o manejo do mesmo (CREPANI *et al*., 2001).

Na grande maioria dos estudos de vulnerabilidade, as áreas que sofreram a ação do homem (antrópicas) possui maior peso, uma vez que essas ações antrópicas alteram o meio natural e, consequentemente, acarretam uma série de consequências negativas (SILVA; MACHADO, 2014).

Uma metodologia usualmente aplicada é a desenvolvida por Crepani *et al*. (1996, 2001), método esse que faz uma avaliação geotecnológica que é fundamentada no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), no qual, através da percepção da Teoria dos Sistemas, o ambiente é analisado partindo da ideia de que na natureza existem trocas de energia e matéria de acordo com o equilíbrio dinâmico entre os componentes da paisagem. É notório que esse equilíbrio pode sofrer alterações pelas oriundas intervenções humanas nos diversos sistemas da natureza, podendo gerar alguns desequilíbrios, o que pode levar a impactos temporários ou mesmo irreversíveis. Com isso, se faz necessário uma avaliação desses sistemas de forma integrada para uma análise da sua fragilidade ambiental. Baseando-se na funcionalidade dos componentes físicos, bióticas e atividades humanas é possível, através de mapas gerados, avaliar a vulnerabilidade à erosão e, desta forma, colaborar no planejamento e tomada de decisão (LONGLEY *et al*., 2013).

Outro método de análise empírica para determinar a fragilidade ambiental natural ou pela ação do homem foi proposto por Ross (1994) fundamentado nos conceitos de Tricard (1977), e pressupõe diferentes formas de fragilidade em Unidades Ecodinâmicas como: Unidades Estáveis (Instabilidade Potencial) e Unidades Ecodinâmicas Instáveis (Instabilidade Emergente); este modelo tem entre seus índices das variáveis o relevo (mapa de declividade) como variável principal, com uma relevância maior no momento da definição dos graus de fragilidade.

A base para estudos de avaliação ambiental é a integração das relações entre os seus elementos naturais, o que possibilita o gerenciamento em direção à conservação da biodiversidade e da paisagem (SPÖRL, 2001). Existem trabalhos nos quais são utilizados modelos qualitativos ou empíricos para análise da fragilidade ambiental e são empregados para avaliar os fenômenos que ocorrem nos processos erosivos, tanto na sua origem, quanto na evolução, mas sempre fundamentado na experiência de especialistas (KAPPES *et al*., 2012; CARDINALI *et al*., 2002).

2.7 Uso de geotecnologia

O uso de geotecnologia se mostra eficiente para trabalhos que avaliam aspectos que influenciam em um efetivo planejamento e gerenciamento territorial, sendo que, o uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG), da Cartografia Digital e dos Sistemas de Posição Global (GPS), são apenas alguns dos exemplos do uso da geotecnologia na gestão de recursos naturais nos seus variados campos das ciências naturais (ROSA; BRITO, 1996).

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são:

> [...] qualquer sistema de gerenciamento de informações capaz de: coletar, armazenar e recuperar informações baseadas nas suas localizações espaciais; identificar locais dentro de um ambiente que tenha sido selecionado a partir de determinados critérios; explorar relações entre os dados de um certo ambiente; analisar os dados espaciais para subsidiar os critérios de formulação de decisões; facilitar a exportação de modelos analíticos capazes de avaliar alternativas de impactos no meio ambiente; exibir e selecionar áreas, tanto graficamente como numericamente, antes e/ou depois das análises. (SILVA, 1999, p. 44).

As aplicações de um SIG são inúmeras, como: a administração da rede viária de uma grande cidade, fornecendo informações sobre rotas mais adequadas para atender situações emergenciais; a elaboração de planos de evacuação, associações de endereço entre pessoas físicas ou jurídicas; planejamento de áreas de proteção ambiental; gerenciamento de reservatórios; estudos dos impactos sobre o meio ambiente; o zoneamento urbano; o gerenciamento da qualidade de água, a aquisição de terras e o controle da cobrança de impostos (SILVA, 1999).

Um SIG pode ainda ser utilizado para a administração da redistribuição espacial, para o gerenciamento de infraestrutura, da saúde e segurança pública, da logística, do planejamento urbano e regional, da educação e pesquisa, do mapeamento do terreno, análise e visualização de dados, modelos de simulação, monitoramentos, dados de mapas temáticos e desenvolvimento do mapa base com análises, modificações e revisões (SILVA, 2007). Além disso, o SIG pode ser utilizado para recuperação de informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também por sua localização espacial.

De acordo com Rocha (2000), é necessário não apenas conhecer, mas também utilizar de maneira integrada todas as ferramentas, processos e entidades pertencentes às geotecnologias disponíveis e, assim, desenvolver metodologias de aplicabilidade no sentido de diagnosticar e prognosticar riscos e potencialidades ambientais em relação ao desenvolvimento das sociedades. Assim, a utilização das geotecnologias se torna um instrumento de suma importância para o estabelecimento de planos de conservação do solo e da água.

O geoprocessamento permite a aplicação de bancos de dados para armazenagem e recuperação de informações, integrando várias disciplinas e apresentando informações associadas a mapas digitais georreferenciados (ROCHA, 2000; DALL'IGNA, 2005; CÂMARA *et al*., 1996; SILVA; MANIESI, 2005; CHELLY; MANIESI, 2008). Esses dados possibilitam uma análise ambiental tendo como base as condições da paisagem e as características naturais ou antropizadas da região, assim como as principais informações como declividade, pedologia, intensidade pluviométrica, uso da terra e cobertura vegetal, de maneira a viabilizar um gerenciamento ambiental (BOJÓRQUEZ-TAPIA *et al*., 2013; MARTÍN-DUQUE *et al*., 2012; ROSS, 2012).

Nesse contexto, a aplicação de ferramentas de geotecnologia na elaboração de produtos cartográficos vinculados a fragilidade ambiental cada vez mais vem se difundindo no Brasil, já que se trata de um conjunto de ferramentas eficientes para gestão territorial e, consequentemente, na qualidade da paisagem (RODRIGUES *et al*., 2001).

As ferramentas que compõem os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) estão auxiliando e facilitando a realização de operações complexas, permitindo a integração de grande volume de dados de natureza e escalas diferentes como, por exemplo, imagens de satélite, cartas topográficas e informações pontuais. As ferramentas utilizadas no geoprocessamento, como os SIGs, permitem analisar dados complexos, pois integra diversas fontes criando bancos de dados georreferenciados (CÂMARA *et al*., 1996).

Os SIGs se destacam como ferramenta para mapear e obter respostas às várias questões sobre planejamento do meio físico e, assim, podendo descrever os mecanismos das mudanças que operam o ambiente, auxiliando na preservação, conservação e manejo dos recursos naturais. Desse modo, a coleta, manipulação, análise e disponibilidade dos dados integrados se torna mais rápida e eficiente, o que possibilita ter uma percepção de suas necessidades, fragilidades e problemáticas, pois proporciona uma perspectiva dos dados integrados (LONGLEY *et al*., 2013).

2.8 Teoria Geral dos Sistemas e Ecossistemas

Durante muito tempo as medidas e métodos teóricos para recuperação ambiental de áreas degradadas de mineração eram baseados em obras, manuais e normas que tinham como autores: Souza *et al*. (1997), Mertem (1994), Griffith, Dias e Jucksch (1994), Queiroz (1994), Griffith (1992), Ferreira *et al*. (1997), ABNT (1999), IBAMA (1990), entre outros.

A recuperação paisagística se embasava em ações convencionais que ia desde o preenchimento da cava, regularização topográfica da lavra até espalhamento do solo, em pontos mais acidentado envolve a reconformação dos taludes, construções de bermas, drenagem das águas das chuvas e superficiais, filtros, terraços e lagos de decantação, entre outras estruturas. Mesmo com todo esse esforço, os resultados na recuperação ambiental em mineração foram um tanto frustrantes, tanto para o ambiente quanto para os que conduzem os PRAD's, uma vez que os índices de biodiversidade não eram alcançados, como o de cobertura vegetal e até mesmo controles de erosão aceitáveis (AUMOND, 2007).

O que se nota nesse contexto é que se estabelecem rapidamente os processos de escoamento difuso, também chamado de escoamento em lençol (*sheetflow*), o que ocasiona processos erosivos laminares; e, em seguida já se inicia o escoamento do tipo fluxo linear (*flowline*), resultando em caminhos preferenciais da água (GUERRA, 1999). Isso favorece o surgimento de microrravinas (*micro-rills*), onde há o escoamento concentrado de águas em canais já estabelecidos, resultando no aumento dos processos erosivos e, consequentemente, degradando as características físicas, químicas e biológicas do substrato do já empobrecido solo/substrato.

Através das premissas acima, Aumond (2007) observou em seu trabalho que a área em recuperação tinha um alto fluxo de matéria (nutrientes, matéria orgânica, sementes e micro-organismos) para fora da área, o que desfavorecia as interações ambientais da água e nutrientes com a flora e fauna. Como consequência, as lagoas de decantação estavam sempre cheias de sedimentos, sendo necessário o seu desassoreamento através do uso de maquinas, o que elevava os custos da recuperação ambiental. Aumond (2007) observou que após o deposito desses sedimentos retirados das lagoas havia a estabilização de uma vegetação naturalmente, principalmente nas superfícies côncavas das áreas de depósito desses sedimentos.

Esse comportamento de colonização de forma natural por parte da vegetação em pontos como descritos por Aumond (2007) nos leva a querer entender a dinâmica sucessional dos ecossistemas do entorno de uma área degradada. Essa perspectiva foi abordada por Bertalanffy (1975), que tentou pela primeira vez criar uma Teoria Geral dos Sistemas, fazendo surgir o entendimento das áreas degradadas como sistemas, uma vez que os sistemas estão em todas.

Os geossistemas são uma classe peculiar de sistemas dinâmicos abertos e hierarquicamente organizados, podendo ser simples ou complexos, e ter uma perspectiva

analítica ou sistêmica (CHRISTOFOLETTI, 1999). Através de uma abordagem analítica é possível analisar os elementos que compõem o sistema, que podem ser chamados de subsistemas ou subconjuntos.

Em um sistema simples, normalmente linear, a relação de causa e efeito entre as variáveis pode ser prevista com precisão (CHRISTOFOLETTI, 1999). Já os sistemas dinâmicos complexos possuem propriedades que surgem da interação entre suas partes, estas sendo compreendidas como um todo e não como um conjunto de partes isoladas (BERTALANFFY, 1975; CAPRA, 1996). Os sistemas dinâmicos complexos são compostos por um conjunto de elementos que interagem e são capazes de realizar trocas de informações com o ambiente do entorno e com capacidade de ajustar sua estrutura interna em função dessas interações (CRISTFOFOLETTI, 1999).

A resposta de um sistema não linear a um distúrbio não é necessariamente proporcional à intensidade deste distúrbio e, desta forma, podemos dizer que os fenômenos que ocorrem na natureza geralmente são caóticos e dinâmicos. Mas esses fenômenos da natureza saem de um comportamento linear para o caótico e também para a linearidade. Os sistemas caóticos são agrupados por uma elevada diversidade de elementos ou subsistemas e possuem a liberdade que com comportamentos proporciona a interação tanto no espaço quanto no tempo, criando assim padrões emergentes que podem ser observados em maiores escalas. Esses fenômenos complexos contém uma determinada ordem que surge a partir de atratores que levam os sistemas a fronteiras no qual não conseguiriam ultrapassar. Isso faz com que os sistemas complexos se distanciem da perspectiva inicial, com isso o acaso se torna uma característica relevante (GLEICK, 1989; RUELLE, 1993; CAPRA, 1996; LORENS, 1996; SOUZA; BUCKERIDGE, 2004; CAMARGO, 2005).

Essa visão fez com que surgisse a necessidade de desenvolver modelos de sistemas para entender a recuperação de áreas degradadas, levando a um entendimento e uma análise mais ampla. Essa visão sistêmica a partir de Bertalanffy (1975) nos estimula a buscar ideias de sistemas e modelos, com destaque para a ideia do sistema aberto: o sistema pode ser considerado aberto àquele que possui capacidade de troca de energia e matéria, como ambienta ao seu entorno.

Para Bertalanffy (1975) a expressão verbal, os “modelos verbais”, normalmente antecede uma formulação matemática. Essa percepção sugere esperar o desenvolvimento futuro de forma não matemática, assim evitando modelos prematuros que possam restringir algum campo de visão. Desta forma se evita a não observação de aspectos que normalmente

possam passar sem serem percebidos, com isso se amplia as chances de elaboração de modelos mais adequados.

Fica evidente uma visão sistêmica do mundo vivo como uma teia de conexões e relações, conforme Capra (1996) e Buckeridge (2004), onde existe um progressivo processo de retroalimentação ou *feedback* nos processos que envolvem a recuperação ambiental.

Frank (1998) concretiza a demanda em valorizar as inter-relações de um sistema fazendo com que se amplie o espectro de observações de campo para melhor compreender as relações bióticas e abióticas que surgem no processo de recuperação ambiental, onde em muitos casos se faz necessário desenvolver um modelo analítico ainda mais abrangente. Isso nos leva a necessidade de compreender os fluxos de matéria e energia e suas relações entre os ambientes externos à área em processo de recuperação.

Os ecossistemas possuem uma característica chamada homeostase. A homeostasia é o caminho para uma estabilidade interna ou para uma propriedade autorreguladora de um sistema, o que faz com que o meio ambiente alcance, assim, equilíbrio dinâmico, essas são estratégias evolutivas que envolvem a mistura de espécies. Um exemplo de autorregulação se observa nas árvores a nível individual, nelas são observadas capacidades específicas: perdem suas folhas nos períodos de seca; já em nível de interações, por exemplo, na capacidade de exsudação de nutrientes pelas raízes das árvores, pode favorecer ou desfavorecer ter um conjunto de espécies estimulando a atividade biológica e microbiológica na rizosfera do solo. Essa dinâmica prevista na Lei da Termodinâmica pode ser expressa através da atividade biológica que envolve a reciclagem de nutrientes, e por consequência também contribui na contenção da umidade do solo; essas são estratégias de conservação de emergia no ecossistema (VIVAN, 1998). No caso de um mal desempenho de um ecossistema, o próprio ecossistema ativa os mecanismos homeostáticos para com isso manter a normalidade; essa estratégia só surte efeito quando as alterações no ecossistema não são profundas e prolongadas (BRAGA *et al*., 2004).

Como descrito por Odum (1988, p. 4), “estatisticamente a variância do todo é menor que a soma da variância das partes”, isso significa que os mecanismos de retroalimentação caminham a diminuir as oscilações no interior dos sistemas, principalmente quando as menores unidades trabalham dentro de maiores unidades. Por exemplo: a taxa de fotossíntese de uma comunidade vegetal varia menos que um indivíduo isolado desta comunidade.

Uma forma de se entender um ecossistema é adotar o modelo de organização compatível com as características fundamentais que envolvem um sistema vivo, conforme

idealizado por Maturana e Varela (1997), e o funcionamento das estruturas dissipativas de Prigogine e Glansdorff (1997) e Prigogine e Stenger (1984). Não é o objetivo do presente trabalho, traduzir a *autopoiese* conforme proposto por Maturana e Varela (1997), mas se apropriar de forma literal e metamórfica para tentar explicar a ordem hierárquica da natureza para a organização dos seres vivos, e com isso trazer para os ecossistemas, uma vez que a auto-organização do sistema não é imposto pelo meio ambiente e, sim, organizado pelo próprio sistema.

O pensamento proposto por Maciel (1974), Odum (1988) e Ricklefs (1996) fica claro quando observamos as plantas que assimilam a energia da luz, normalmente solar, e essa planta consegue fazer a fotossíntese, em seguida os seres herbívoros se alimentam dessa planta, os animais carnívoros comem de outros animais e os insetos, bactérias e fungos reciclam os nutrientes, e assim por diante; desta forma o todo se mantém.

Essa percepção implica entender o processo continuo no fluxo de matéria e energia como um todo no ambiente, e a estrutura do ecossistema. A instabilidade desse processo associada aos mecanismos e técnicas inseridos dentro dos PRAD's tem que internalizar parte do fluxo de matéria e energia e assim conduzir a área degradada à auto-organização, resultando em estruturas mais complexas dentro do ecossistema.

Um dos fatores fundamentais nos processos de recuperação de áreas degradadas é o solo/substrato, mas sabendo que se pode interferir em um ou mais fatores, no caso do solo degradado é fundamental focar em acelerar sua formação minimizando os processos erosivos e favorecendo a construção do horizonte "A"; os fatores que determinam na formação dos solos são: o clima, os organismos, o material de origem, o tempo e o relevo (ABRAHÃO; MELLO, 1998).

Quando se lança luz à recuperação ambiental da Mina Novo com a abordagem e visão que os autores acima mencionados expõem, é possível entender as relações ecológicas entre solo/substrato, tipo de solo/substrato, o clima e a diversidade de plantas, entre outras variáveis ecológicas, como o ecossistema tanto da Mina quanto o seu entorno. Isso leva a refletir o quanto a Teoria Geral de Sistema, de forma dinâmica e complexa, em modificações em um terreno ou na forma de exploração de uma mineração, pode levar a um grau de instabilidade ou estabilidade progressivo ao longo do tempo.

No caso da Mina Novo Mundo é possível avaliar se o terreno resultante da exploração mineral, através da metodologia *washing plant* (WP) após as ações previstas no PRAD, é capaz de armazenar, reter e suportar energia e matéria, e, assim, condicionar a uma

evolução positiva do ambiente antes degradado, normalmente muito sensível em um ambiente capaz de suportar e evoluir para um ambiente sustentável e equilibrado, favorecendo as interações ecológicas do sistema.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 Floresta Nacional do Jamari

A área de estudo está localizada no interior da FLONA do Jamari, criada pelo Decreto nº 90.224, de 25 de setembro de 1984, com área estimada em 215.000 hectares, sendo subordinada ao Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) e, posteriormente, ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e, desde 2007, é administrada pelo Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio). Segundo o Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC), a FLONA do Jamari está no Grupo das Unidades de Uso Sustentável, instituído pela Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que regulamentou o art. 225, parágrafo 1º, incisos I, II, III e VII, da Constituição Federal (IBAMA, 2005).

A FLONA abrange parte dos municípios de Candeias do Jamari (norte e oeste), Itapuã do Oeste (sul, norte e oeste) e Cujubim (sul e leste), sendo esses pertencentes ao estado de Rondônia. Localiza-se às margens da rodovia BR-364, com uma distância de aproximadamente 120 km da capital Porto Velho-RO, sendo a área de estudo localizada na região Noroeste da UC (Figura 1).

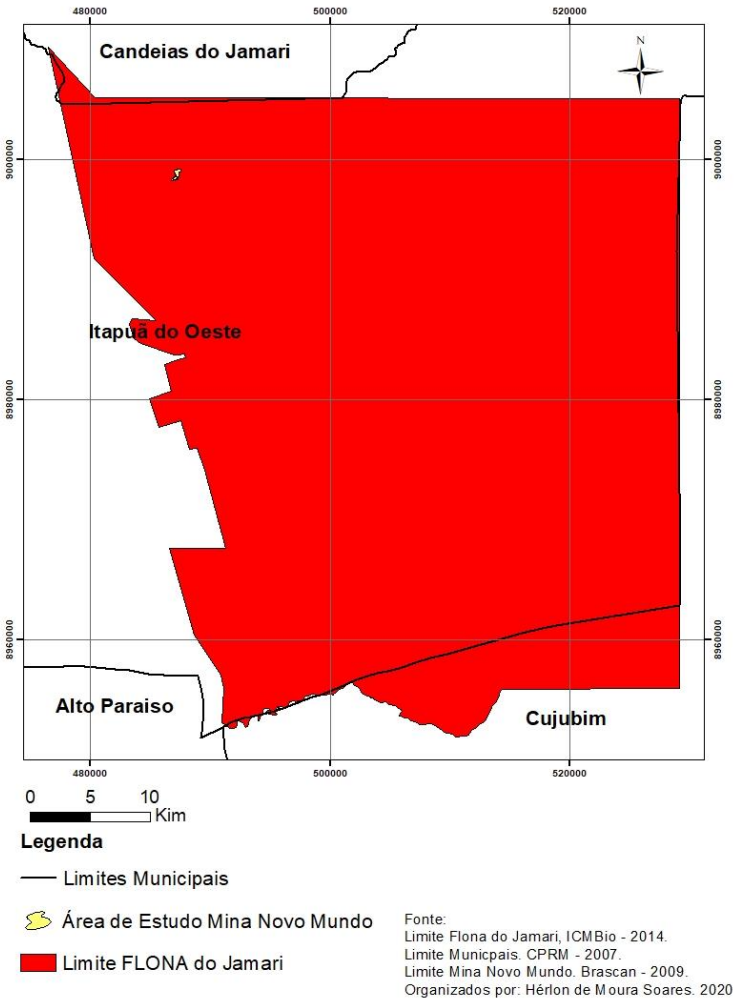

Figura 1 - Localização da FLONA do Jamari.
Fonte: o autor.

Ademais, grande parte de sua área está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Jacundá, que cobre aproximadamente 80% da área da FLONA.

As formações florestais de terra firme, principalmente a floresta ombrófila submontana, ocupam mais de 95% da área da FLONA. No inventário florestal realizado para o plano de manejo da FLONA do Jamari foram identificadas 250 espécies pertencentes a 55 famílias. Os tipos de solos são distribuídos em 04 ordens primárias existentes no interior da Floresta Nacional do Jamari: Regossolos, Solos Concrecionários Distróficos, Latossolos (Amarelos Distróficos, Vermelho-Amarelos Distróficos e Vermelho-Escuros Distróficos) e Podzólicos Vermelho-Amarelos Distróficos (MMA/IBAMA, 2005).

3.2 Características da área de estudo

3.2.1 Clima

A região da FLONA do Jamari tem como característica o clima quente e úmido, com temperaturas médias de 24º C, precipitação pluvial acumulada de 2.550 mm, com picos entre os meses de dezembro e março. A umidade relativa do ar é em torno de 80% a 85%, com seu período mais crítico de julho a agosto (LONGO *et al*., 2011). De acordo com Köppen (1948), este clima é Tropical Chuvoso (AW), no qual se pode ter um período seco durante a estação de inverno, quando ocorre um moderado déficit hídrico.

3.2.2 Solo

Estudos realizados pelo Projeto Radambrasil e pelo Zoneamento Sócio Econômico e Ecológico do Estado de Rondônia ilustram que na região da FLONA do Jamari as ocorrências predominantes das classes dos solos são: Latossolos Vermelho-Escuro Distrófico, Vermelho-Amarelo Distrófico, Podzólico Vermelho-Amarelo Distrófico, Rigossolo e Gleissolos (RADAMBRASIL, 1978; RONDÔNIA, 2000).

3.2.3 Geomorfologia

A região encontra-se inserida na unidade geomorfógica dominada por áreas de Superfícies Aplainadas do Sul da Amazônia. As Superfícies Aplainadas do Sul da Amazônia constituem o mais extenso domínio geomorfológico do estado de Rondônia, estendendo-se, em larga medida, pelos estados de Mato Grosso e Amazonas. O domínio foi individualizado de forma mais precisa pelo IBGE (1995).

A Planície Amazônica, para Melo *et al*. (1978), é dividida em função dos níveis topográficos encontrados e suas peculiaridades e fisionomia do relevo, sendo de interesse, sobretudo, a faixa de transição entre a Superfície Pediplanada e as Áreas Dissecadas.

3.2.4 Geologia

Melo *et al*. (1978) descreve a presença de materiais do cenozoico (Terciário Quaternário), a litoestratigrafia está representada pela formação Solimões, cujas características litológicas são: arenitos, siltitos, argilitos interdigitados, conglomerados ocasionais, lentes e veeiros gipsíferos e calcíferos, linhitos e colúvios. No local de amostragem o material de cobertura do solo é argiloso, acompanhado de grande quantidade de concreções ferruginosas.

3.2.7 Mina Novo Mundo

A lavra mineira foi iniciada pela Mina Jacundá em 1964, seguida pela Mina Santa Bárbara em 1969, evoluindo posteriormente para um distrito mineiro formado pelas minas Santa Bárbara, Jacundá, Potosi, Caneco e a presente área de estudo Novo Mundo (DALL'IGNA, 1996).

A Mina Novo Mundo está localizada na porção noroeste da FLONA do Jamari, inserida no Bioma Amazônia. A exploração de cassiterita foi através do método *washing plant* (WP). A mina teve início em 1980, e a paralisação das atividades em 1987. Como consequência de qualquer atividade minerária, 31,97 ha ficaram degradados, vale ressaltar que não foram considerados os ambientes lênticos.

As áreas exploradas pelo método WP depositam o rejeito dentro da própria cava, desta forma contribui para uma menor variação granulométrica no sentido vertical (Figura 2).

Figura 2 - Perfil do rejeito WP.
Fonte: Longo, Ribeiro e Melo (2005).

Com a análise morfológica do perfil é possível observar as características do substrato gerado após a mineração (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrição morfológica em rejeito de WP com capeamento – Mina Novo Mundo.

Camada	Espessura (cm)	Características
I	0 - 10	Bruno avermelhado (2,5 YR 6/4); arenoso; apresenta cobertura constituída de material orgânico e cascalho; tendência granular grande/forte; friável; plástico e pegajoso; transição ondulado abrupto.
II	10 - 60	Vermelho (2,5 YR 4/6); arenoso; maciços com extratos planos paralelos de areia lavada; textura arenosa; muito friável; não plástico e não pegajoso; transição suave e difuso.
III	60 <	Vermelho amarelado (2,5 YR 5/6); arenoso; maciços com extratos planos paralelos de areia lavada; textura arenosa; muito friável; não plástico e não pegajoso.

Fonte: Brascan (2009a).
Nota: YR= Representação da coloração do solo

Até a profundidade avaliada do perfil vertical do rejeito, destaca-se a presença de diferentes camadas, sendo essas I, II e III. A primeira camada recebeu uma pequena cobertura

de solo oriundo de uma barragem de capitação de água chamada Cortez, desta forma, apresenta características de horizonte superficial com alguma estruturação. No que diz respeito às demais camadas, estas apresentam distribuição heterogênea, sendo que uma das faces da trincheira é constituída por bolsões de areia (BRASCAN, 2009a).

4 MATERIAL E MÉTODO

4.1 Material

Para a obtenção das imagens foi utilizado um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), modelo *Phanton 4 Pro* da empresa DJI, em voos realizados em 2019, gerando dados com resolução espacial de 0,06 m. Foi confeccionado mosaicos ortorretificados utilizando o programa *Agisoft PhotoScan*. Além disso, outros *softwares* utilizados para o geoprocessamento foram: o *QGIS*, *ArcGIS* e *Global Mapper*.

Foram levantados dados estruturais da vegetação e fertilidade do solo, e para o processamento foi utilizado o programa *Excel*.

4.2 Metodologia

Neste item caracteriza-se por apresentar uma forma de estruturação de um modelo ecológico para avaliar a recuperação da área degradada resultante da exploração de cassiterita na Mina Novo Mundo a fim de demonstrar as análises e as integrações dos dados.

4.2.1 Coleta e Análise dos Dados da Vegetação

Tanto para as áreas em recuperação ambiental quanto da vegetação natural primária (floresta) e secundária (capoeira), as amostragens de ambientes naturais serviram de referência para comparação com a área de estudo. Foram alocadas parcelas de forma sistemática com formatos retangulares, composta por 06 estratos da vegetação, sendo que cada um desses possuía uma parcela de tamanho variável, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Estratos das parcelas

Estrato	Classe de tamanho		Parcela	Variáveis
	Altura (m)	**DAP * (cm)**	**(m x m)**	
1	0,3 a 1,3	< 10	2 x 10	Identificação e contagem dos indivíduos.
2	1,3 a 3,0	< 10	5 x 10	Identificação e contagem dos indivíduos.
3	> 3	< 10	10 x 10	Identificação e contagem dos indivíduos.
4		10 a 30	10 x 50	Identificação, DAP, H, sanidade, forma e posição de copa.
5		30 a 50	20 x 50	Identificação, DAP, H, sanidade, forma e posição de copa.
6		> 50	50 x 50	Identificação, DAP, H, sanidade, forma e posição de copa.

Fonte: o autor.
Nota: DAP = Diâmetro na altura do peito, H= Altura.

Tais parcelas foram distribuídas sistematicamente da seguinte forma: o vértice mais próximo à 20m do eixo da estrada; distribuição proporcional à superfície da área da mina; georreferenciadas; parcelas são paralelas, distantes lateralmente de 50 m. Desta forma, foram distribuídas 05 parcelas na área de estudo Mina Novo Mundo, 04 parcelas na área de floresta primária (mata) e 04 parcelas na floresta secundária (capoeira), totalizando 13 parcelas. O número de parcelas alocadas foi proporcional ao tamanho da mina (BRASCAN, 2009b). Os dados foram levantados anualmente sempre no final da estação de chuva no estado de Rondônia (meses de maio a junho) entre os anos de 2009 a 2019.

A partir dos dados coletados é possível calcular para cada espécie e família os parâmetros estruturais, como densidade, dominância e frequência, índice de cobertura e de importância ecológica, índice de regeneração natural, posição fitossociológica, diversidade e padrão de distribuição espacial das espécies.

A metodologia utilizada para levantamento dos dados foi proposta pela BRASCAN no Plano de recuperação de áreas degradadas (BRASCAN, 2009a; BRASCAN, 2009b). O número de parcelas foi proporcional ao tamanho da Mina Novo Mundo e os dados vêm sendo levantados desde o ano de 2009; os indivíduos provenientes de cada estrato da vegetação receberam uma etiqueta de identificação numérica e passaram a ser acompanhadas quanto a sua evolução.

A estrutura da vegetação é descrita pelos seguintes parâmetros: densidade de indivíduos (expressa em indivíduos por hectare) do estrato de regeneração (estratos 1, 2 e 3;

DAP < 10 cm) e do estrato arbóreo (estratos 4, 5 e 6; DAP > 10 cm), densidade de indivíduos provindos da regeneração artificial (mudas plantadas) e natural (indivíduos espontâneos), área basal (m2 por hectare), altura do dossel (altura média do estrato mais alto, expressa em metros) e riqueza de espécies por parcela. Como a riqueza de espécies não varia de forma linear no espaço, esta não pode ser diretamente extrapolada para valores de densidade de espécies por hectare (GOTELLI; COLWELL, 2001). Por este motivo, a riqueza de espécies será apresentada aqui como número de espécies médio por parcela (riqueza média por parcela) e como a somatória do número de espécies amostrado em cada área (riqueza total, S). Os valores de riqueza se referem sempre à somatória de todos os estratos representados. Estes dados podem ser diretamente comparados aos dados de riqueza e composição florística das florestas secundárias e florestas maduras da FLONA do Jamari (JAKOVAC; JUNQUEIRA, 2010), pois ambos utilizaram a mesma metodologia de amostragem. Comparações de riqueza com outras áreas em recuperação fora da FLONA poderão ser realizadas através dos valores totais de riqueza amostrados nas parcelas que representam a riqueza de espécies encontrada na área em recuperação Mina Novo Mundo.

Serão apresentados também a composição florística e os parâmetros fitossociológicos, que indicam como as espécies estão organizadas dentro das comunidades vegetais da área em recuperação. Os parâmetros fitossociológicos calculados foram, segundo Curtis e Mcintosh (1950), Mueller-Dombois e Ellenberg (1974):

- Riqueza de espécies (S) S = total de espécies amostradas em determinado espaço.

Para permitir comparações entre a área em recuperação e as florestas secundárias e maduras do entrono da Mina Novo Mundo foram amostradas com a mesma metodologia; a riqueza de espécies será apresentada como riqueza por parcela;

- Área basal (AB) AB = (DAP)2 x ∏ / 4, sendo DAP o diâmetro da árvore medido à altura do peito. Para indivíduos com tronco bifurcado a área basal foi calculada com base na somatória da área basal de cada bifurcação;

- Dominância relativa (DoR %) DoR = (área basal total da espécie / área basal total de todas as espécies);

- Freqüência absoluta (FA%) FA= (número de unidades amostrais em que a espécie ocorre/ número total de unidades amostrais);

- Freqüência relativa (FR %) FR = (FA da espécie/ somatória da FA das demais spp amostradas);

- Densidade relativa (DR %) DR= (número de indivíduos de uma determinada espécie/ número de indivíduos de todas as espécies amostradas);

- Índice de Valor de Importância (IVI) IVI = DR + FR + DoR;

- Índice de Valor de Cobertura (IVC) IVC = DR + DoR.

Para avaliar a similaridade florística entre a vegetação da área em recuperação e as florestas secundária e primária nativas do interior, foram utilizados os índices de Jaccard (J) e de Sorensen (So). O Índice de Jaccard é calculado pela fórmula: J= A/A+B+C. O índice de Sorensen é calculado pela fórmula: So=2A/2A+B+C. Estes índices são calculados para pares de ambientes. Para ambos os índices: "A" é o número de espécies compartilhado pelas duas comunidades, "B" é número de espécies exclusivas da comunidade e "C" é o número de espécies exclusivas da comunidade 02 (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998). Os índices variam de zero (nenhuma similaridade) a 01 (comunidades com composição florística idêntica). O Índice de Sorensen dá maior peso às espécies em comum e por isso resultam em valores absolutos maiores do que os calculados pelo Índice de Jaccard. Por serem calculados de formas diferentes, ambos são aqui apresentados, porém seus valores só podem ser comparados entre os mesmos índices. Estes índices foram escolhidos porque levam em consideração apenas a presença ou ausência das espécies, não sendo sensível à abundância delas. Estes índices são mais adequados para se comparar a composição florística de ambientes em que a densidade de indivíduos é muito discrepante, como é o caso da área em recuperação com vegetação nativa do entorno da mina.

4.2.2 Coleta e Análise dos Dados do Solo

Foram realizadas coletas de solo para avaliação de fertilidade, coletados 03 amostras compostas por parcelas derivadas de 04 amostras simples na profundidade de 0 – 20 cm.

As amostras de solo foram enviadas para o Laboratório de Solo da Universidade Estadual Paulista (UNESP), *campus* Jaboticabal, para a realização das análises de fertilidade e matéria orgânica do solo.

A metodologia para análise química de fertilidade do solo foi a descrita em Raij *et al*. (2001), desta forma, os atributos analisados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 - Atributos análise química de fertilidade do solo.

pH em solução de CaCl2 0,01 mol L^{-1};
Matéria Orgânica – MO (g dm^{-3}) = CO (g dm^{-3}) x 1,72;
Cálcio trocável – extração com cloreto de amônio 1 mol/L e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica - resultado expresso em mmolc/dm^{-3};
Magnésio trocável – extração com cloreto de amônio 1 mol/L e leitura em espectrofotômetro de absorção atômica - resultado expresso em mmolc dm^{-3};
Acidez potencial – método SMP, pH 7 (H + Al, resultado em mmolc dm^{-3};
Capacidade de troca de cátions - CTC = T = SB + (H + Al), expressa em em mmolc dm^{-3};
Saturação por alumínio - m = 100xAl3+/T, em %;
Saturação por bases - V = 100xSB/T, expresso em %;
Fósforo disponível – extração pelo método da resina e determinação por espectrofotometria, resultado expresso em mg dm^{-3}.

Fonte: o autor.

4.2.3 Vulnerabilidade a Erosão

Para uma melhor compreensão da metodologia utilizada elaborou-se um organograma (Figura 3). Inicialmente, realizou-se o levantamento bibliográfico, com isso, adotou-se a metodologia proposta por Crepani *et al*. (1996; 2001). Além disso, foram realizados trabalhos de campo.

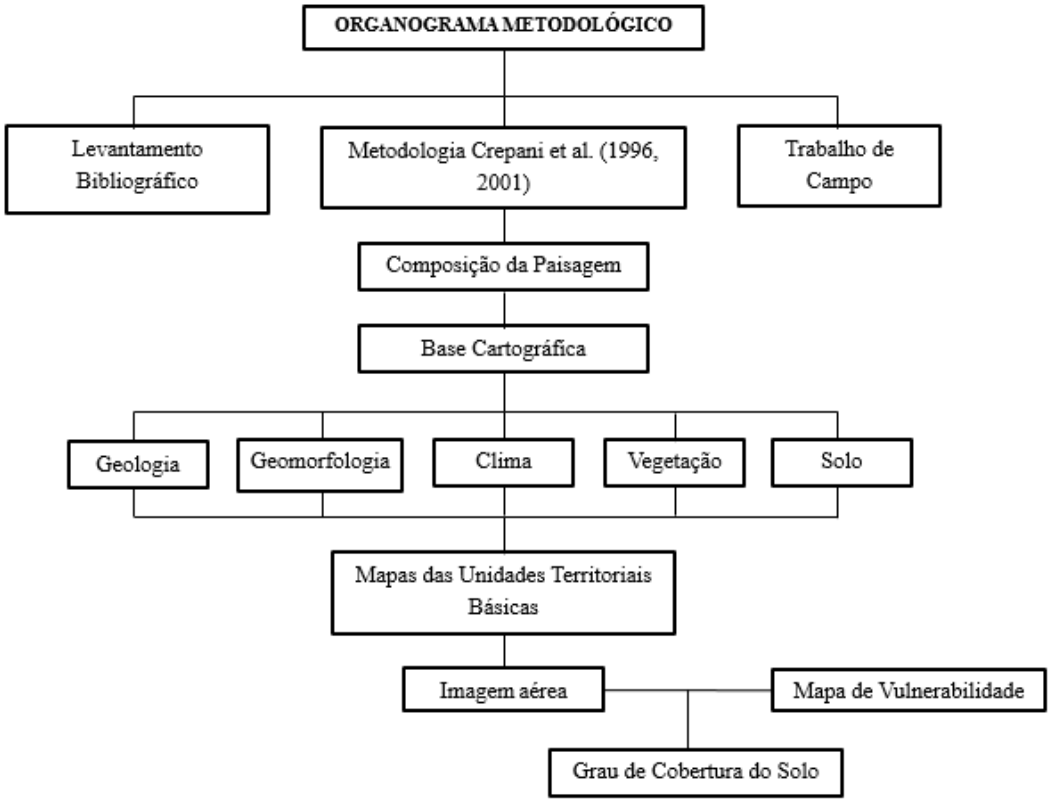

Figura 3 - Organograma metodológico.
Fonte: o autor.

O método utilizado neste trabalho foi desenhado por Crepani *et al*. (1996; 2001), a partir do é apresentada uma metodologia para estudos de vulnerabilidade natural à perda de solo através de mapas. Esta metodologia foi desenvolvida com base no conceito de Ecodinâmica e permite a visão sinótica e holística da paisagem. A interpretação dos dados contidos nas imagens é realizada considerando os padrões das variações de cores, textura, forma, padrões de drenagem e relevo.

Crepani *et al*. (1996) descreve que para expressar a vulnerabilidade natural à erosão aos atribuídos valores de estabilidade que expresse as características de cada unidade. Desta forma os valores de atribuídos quanto a vulnerabilidade podem ser relativos e empíricos aos processos erosivos do solo.

Nesse contexto, a vulnerabilidade de cada unidade da paisagem é estabelecida por meio de uma escala na qual os valores são de acordo com a relação morfogênese/pedogênese, conforme avaliação de cada um dos temas ou Plano de Informação (PI), como: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso da terra, clima, entre outros. Essa metodologia, possibilitando editar os Planos de Informação permite montar e manipular o banco de dados composto pelas variáveis ambientais como: pedologia, geologia, geomorfologia, vegetação,

clima e/ou declividade; e utilizando programas de geoprocessamento são gerados mapas computacionais aplicados ao estudo de vulnerabilidade, no qual são atribuídos valor (empíricos ou relativos) para fins de ordenamento territorial. Nos mapas dos diferentes componentes ambientais são atribuídos valores quanto à vulnerabilidade, podendo ser relativos e empíricos. Esses valores levam em consideração os processos que determinam o desenvolvimento da pedogênese e/ou morfogênese, quando predomina a morfogênese significa que prevalece os processos erosivos que modificam as formas de relevo, e quando predomina a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos.

Para este trabalho os critérios quanto à escala de vulnerabilidade à erosão será baseado em Crepani (1996; 2001), que também segue os princípios e conceitos da Ecodinâmica de Tricart (1977) que estabelece valores/pontos para cada unidade ambiental. Fundamentado no modelo de Crepani *et al*. (2001), serão atribuídos valores aritméticos para unidades que compõem a paisagem final, todas as variáveis possuem a mesma importância (peso) quanto ao grau de fragilidade das Unidades Territoriais Básicas (UTB).

Os valores atribuídos para cada unidade, conforme a Tabela 2, expressa a vulnerabilidade das unidades da paisagem onde as mais estáveis com valores próximos de 01, as intermediárias em torno de 02 e as com mais vulnerabilidade próximas de 03.

Tabela 4 - Pontuação quanto à vulnerabilidade das unidades de paisagem natural

Unidade	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2
Instável	Prevalece a morfogênese	3

Fonte: baseado em Tricart (1977).

Esses valores pretendem expressar a vulnerabilidade natural, e para cada tema de forma individualizada é feita uma a modelagem que representa as unidades da paisagem natural (CREPANI *et al*., 1996). Tais valores representam os processos que interferem para o desenvolvimento da pedogênese e/ou morfogênese e se dividem nas seguintes classes: estável; moderadamente estável; medianamente estável/vulnerável; moderadamente vulnerável; vulnerável.

Com os valores para cada um das unidades de estabilidade são confeccionados os mapas, onde são gerados diversos mapas temáticos e de acordo com as imagens reinterpretados através de álgebra de mapas (BARBOSA, 1997) utilizando ferramentas de SIG e, assim, ao final é gerado o mapa de fragilidade ou vulnerabilidade à erosão, como ilustra Figura 5. A álgebra de mapas pode ser compreendida como álgebra tradicional na qual a manipulação de um conjunto de variáveis dá origem a campos geográficos (BERRY, 1993).

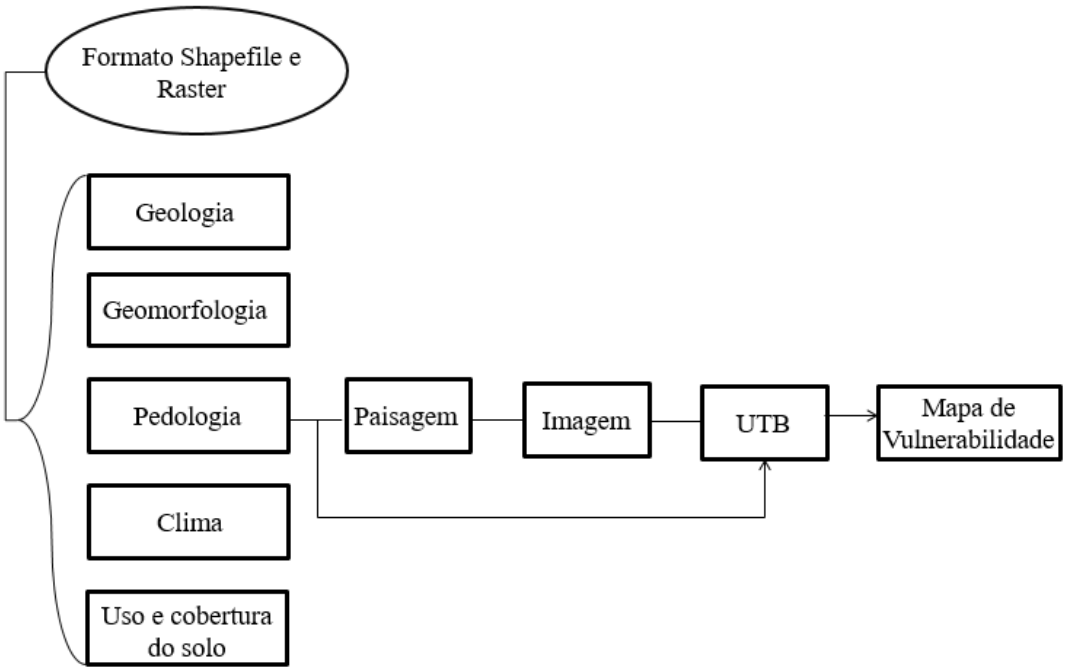

Figura 4 - Organograma do fluxo para determinar a vulnerabilidade.
Fonte: baseado em Becker e Egler (1996) e Crepani *et al.* (1996; 2001).

Para elaboração dos mapas, os temas foram agrupados conforme o grau de desenvolvimento fisiográfico.

Na Tabela 5 pode-se observar que a geomorfologia foi agrupada em áreas planas entorno, colinas e morros entorno, e planícies inundáveis e morrotes entorno.

Tabela 5 - Agrupamento e peso Geomorfologia.

Geomorfologia	Peso
Planas	1
Colinas e morros	2
Planícies inundáveis e morrotes	3

Fonte: o autor.

Na Tabela 6 pode-se observar que solo foi agrupado conforme o grau de desenvolvimento, sendo assim, obteve-se os desenvolvidos Latossolos e Argissolos entorno,

mal desenvolvidos como Neossolos e Cambissolos entorno, e hidromórficos (solos inundados, encharcados e definidos pelo excesso de umidade) como Gleyssolos, Planossolos e solos degradados ou expostos entorno.

Tabela 6 - Agrupamento e peso Solo.

Solo	Peso
Latossolos e Argissolos entorno	1
Neossolos e Cambissolos entorno	2
Gleyssolos, Planossolos e solos degradados ou exposto entorno	3

Fonte: o autor.

Na Tabela 7 pode-se observar que a geologia foi agrupada de acordo com sua litologia, portanto, obtiveram-se ígneas entorno, metamórfica entorno e sedimentar entorno.

Tabela 7 - Agrupamento e peso Geologia.

Geologia	Peso
Ígneas	1
Metamórfica	2
Sedimentar	3

Fonte: o autor.

Para elaborar o tema “cobertura do solo pela vegetação” foi utilizado inicialmente tecnologias de sensoriamento remoto, GNSS e SIGs, com visitas em campo, sendo possível averiguar os padrões obtidos na fotogrametria e fotointerpretação da área de estudo. A partir disso, pode-se determinar a formação da cobertura florestal.

No que diz respeito à imagem aérea, foram aplicados diferentes algoritmos para criar as classificações, técnica de classificação direcionada ao objeto, e editadas manualmente através de fotointerpretação com vetorização em tela.

Na Tabela 8 pode-se observar que a vegetação foi agrupada conforme o índice de cobertura, sendo assim, foi classificado em vegetação densa, característica das florestas ombrófilas, e apresenta o dossel com cobertura homogênea entorno, vegetação intermediária típica de floresta secundária ou capoeira com dossel entre 40% e 80% coberto entorno, e sem vegetação ou vegetação rala quando o dossel apresenta menor que 40% entorno.

Tabela 8 - Agrupamento e peso para Índice de Cobertura do Solo

Vegetação	Peso

Vegetação densa	1
Vegetação intermediárias	2
Sem vegetação	3

Fonte: o autor

As classes de cobertura do solo tiveram como base a classificação do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) – *TerraClass 2014*, sendo essas:

- Solo exposto: quando o solo nu corresponde a mais de 80% da feição, mesmo apresentando algum tipo de vegetação;
- Campo sujo: quando a área apresentar algum tipo de cobertura vegetal acima de 80%, mas predomina espécies herbácea, gramínea ou arbustiva, mesmo se possui algumas espécies arbóreas isoladas;
- Vegetação rala: trata-se do avanço das áreas com vegetação aberta; surge quando o dossel apresenta falhas acima de 40%;
- Vegetação intermediária: com o avanço das áreas com vegetação rala foi necessário criar uma nova categoria que representaria as áreas com cobertura intermediária entre a vegetação rala e a densa;
- Vegetação densa: quando as espécies são predominantemente arbóreas e o dossel encontra-se homogêneo.

No que diz respeito ao clima, regiões como a da área de estudo possui índices de chuvas anuais entre 2.100mm a 2.600mm distribuídas em 09 meses, o peso será entorno de 02.

Atribuídos os valores para cada unidade, então se parte para uma operação de álgebra de mapas; através de uma operação aritmética os valores são somados e o resultado é dividido por 05, então, obtém-se a vulnerabilidade à erosão (Figura 6).

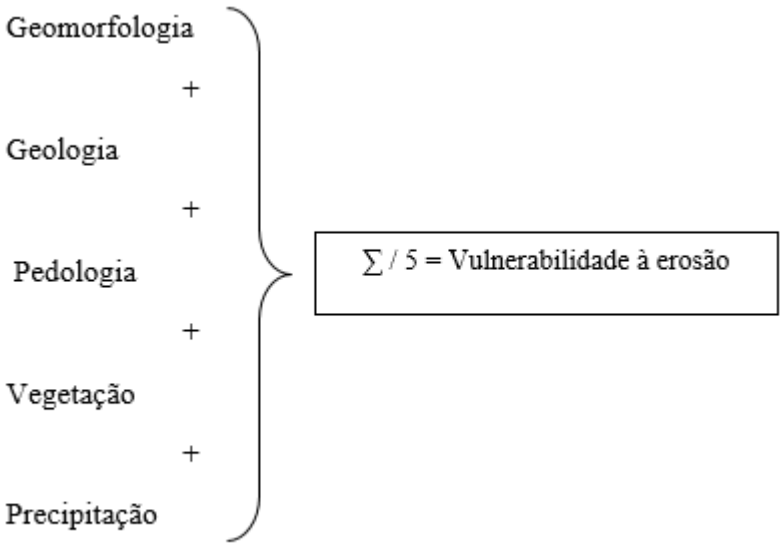

Figura 5 - Representação da Equação de Vulnerabilidade.
Fonte: o autor.

Após o geoprocessamento, ajustes e validação das classes de vulnerabilidade à erosão, a visita *in loco* a área de estudo, então se fez possível observar os processos e a relações entre as variáveis ambientais, tais como a geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, morfologia e atividades antrópicas.

4.2.4 Fonte de dados

As principais fontes de dados para elaboração dos componentes da paisagem na escala 1:250.000 no formato Shapefile (SHP) foram: Geologia (CPRM, 2007); Geomorfologia (RONDÔNIA, 1998); Solos (RONDÔNIA, 1998); Clima (RONDÔNIA, 2002); Vegetação (BRASCAN, 2019).

4.2.5 Processamento dos dados

Inicialmente, para o processamento dos dados se fez necessário utilização de *softwares* que permitissem visualizar os dados, realizar aplicações de técnicas de geoprocessamento e elaborar o Modelo Numérico de Terreno (MNT) e o Modelo Digital do Terreno (MDT). Com isso, utilizou-se o *Global Mapper* (versão 13) especialmente para trabalhar com o MDT e MNT, e o *ArcGIS* (versão 10.5) e *QGIS* (versão 3.4.11), foram

utilizados principalmente para os *layouts* dos mapas. Para a criação dos mosaicos das imagens capturadas pelo *drone* foi empregado o *Agisoft PhotoScan* (versão1.5.3).

Após a confecção do mosaico com as imagens obtidas pelo *VANT*, foi possível aplicar algoritmos para efetuar a classificação através do *software ArcGIS*. Todas as classes foram editadas manualmente por meio de fotointerpretação no *software ArcGIS*, com vetorização em tela.

Após concluir a etapa de geoprocessamento dos dados referentes às unidades da paisagem da FLONA do Jamari, foi realizado o recorte específico de cada tema para a área de estudo através da ferramenta *Geoprocessing/Clip* utilizando o *ArcGIS*. Em seguida, se criou o mapa de vulnerabilidade à erosão, nesta etapa são aplicadas álgebras de mapas para obter o mapa de vulnerabilidade, nessa etapa também foram utilizadas ferramentas *Raster Calculator/Map Algebra*.

Posteriormente, utilizando os dados vetoriais com o intuito de uma melhor visualização, foram elaborados os mapas temáticos da Mina Novo Mundo, sendo esses: Clima, Solos, Geologia, Geomorfologia e índice de cobertura florestal da mina em estudo. Vale ressaltar que os dados foram trabalhados com o Sistema de Coordenadas UTM 20S e DATUM SIRGAS 2000.

Para fins de determinação da vulnerabilidade à erosão da mina em processo de recuperação ambiental (Mina Novo Mundo), o mapa final de vulnerabilidade à erosão teve como parâmetro as 21 categorias de análise (Figura 6).

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
					VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1		3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4	V	2,7			255	153	0	
U5	U	2,6		MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	L	2,5	E		255	255	0	
U7	N	2,4	S		204	255	0	
U8	E	2,3	T		153	255	0	
U9	R	2,2	A	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	A	2,1	B		51	255	0	
U11	B	2,0	I		0	255	0	
U12	I	1,9	L		0	255	51	
U13	L	1,8	I		0	255	102	
U14	I	1,7	D	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	153	
U15	D	1,6	A		0	255	204	
U16	A	1,5	D		0	255	255	
U17	D	1,4	E		0	204	255	
U18	E	1,3		ESTÁVEL	0	153	255	
U19		1,2			0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0			0	0	255	

Figura 6 - Escala adotada de vulnerabilidade das Unidades Territoriais Básica (UTB).
Fonte: Crepani *et al*. (2001).

4.2.6 Análise dos ecossistemas segundo a Teoria Geral de Sistemas

A área de estudo tem 31,97 ha e sofreu nos anos 1980 exploração de cassiterita e possui o nome de Mina Novo Mundo; o minério estava depositado na forma de aluvião. A partir do ano de 2005 recebeu intervenções, conforme descrito no Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), apresentado ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente (IBAMA), e aprovado pelo órgão em 2009. Foi realizada a recomposição topográfica seguindo a morfologia da área com uso de máquinas, lançado material superficial oriundo do entorno da mina na superfície do terreno, correção química a fertilidade do solo através de calagem e adubo formulado, plantio de coquetel de leguminosas para formar um tapete verde por 03 anos, assim acelerando a formação de um horizonte “A”, e até “O” em seguida foram implantadas mudas de plantas florestais no espaçamento de 3m x 2m dando um total de 1.666 plantas/há, onde receberam adubação de cobertura até 2014. Essas foram etapas básicas das ações que compõem o PRAD na Mina Novo Mundo. Vale ressaltar que a área de estudo possui um solo/substrato oriundo de exploração através de *washing plant*, forma essa que não

resulta em grandes colunas ou variações verticais na granulometria, como observado na Figura 2.

A partir do ano de 2009 foram implantadas 05 parcelas permanentes dentro da área em recuperação para acompanhar o desenvolvimento do solo/substrato e da vegetação, o que dá 12.500 m^2; também foram instaladas em 2010 mais 08 parcelas na vegetação do entorno, das quais 04 parcelas na floresta secundária e 04 parcelas na floresta primária com mesmas dimensões que as instaladas na área em recuperação, totalizado 20.000m^2.

4.2.7 Componentes do sistema e modelo para avaliar o desenvolvimento do ecossistema após 14 anos de implantação do PRAD

A área degradada dentro do sistema é representada pela letra "S" enquanto o ambiente no entorno é representado pela letra "A".

Os componentes principais para avaliar a área de estudo são:

- Solo/Substrato;
- Vegetação;
- Índice de cobertura do solo;
- Vulnerabilidade à erosão.

Todos esses componentes sofrem influência pelo ambiente do entorno, que aqui será representado pela letra "A". Neste contexto o homem também está inserido no ambiente, já que tem influência na recuperação da área degradada. Desta forma a recuperação da área degradada pode ser representada na seguinte equação: Recuperação = f (S, A), na qual "S" representa os componentes degradados e "A" representa o ambiente do entorno.

Os componentes do modelo que representam um sistema ecológico para recuperação da área degradada foram baseados na bibliografia (ODUM, 1988; RICKLEFS, 1996; VIVAN, 1998; KHATOUNIAN, 1999; AUMOND, 2007) que usam esses e outros componentes para o modelo de sistema em recuperação da área degradada, esses autores incluem não só o solo e vegetação, mas também água, fauna, radiação e superfície do terreno. Tanto o componente solo quanto o componente vegetação podem compor diferentes níveis hierárquicos, indo do sistema que envolve à área degradada que vamos considerar Nível A ao subsistema como fatores relevantes que vamos considerar Nível B. Ainda surge no Nível C dentro da hierarquia como a interação do componente dentro do sistema maior. A Figura 7 exemplifica uma representação gráfica do sistema, seus subsistemas e seus componentes, assim como a

distribuição dos níveis. Nesta ilustração o autor considerou em seu trabalho a rugosidade do terreno como subsistema.

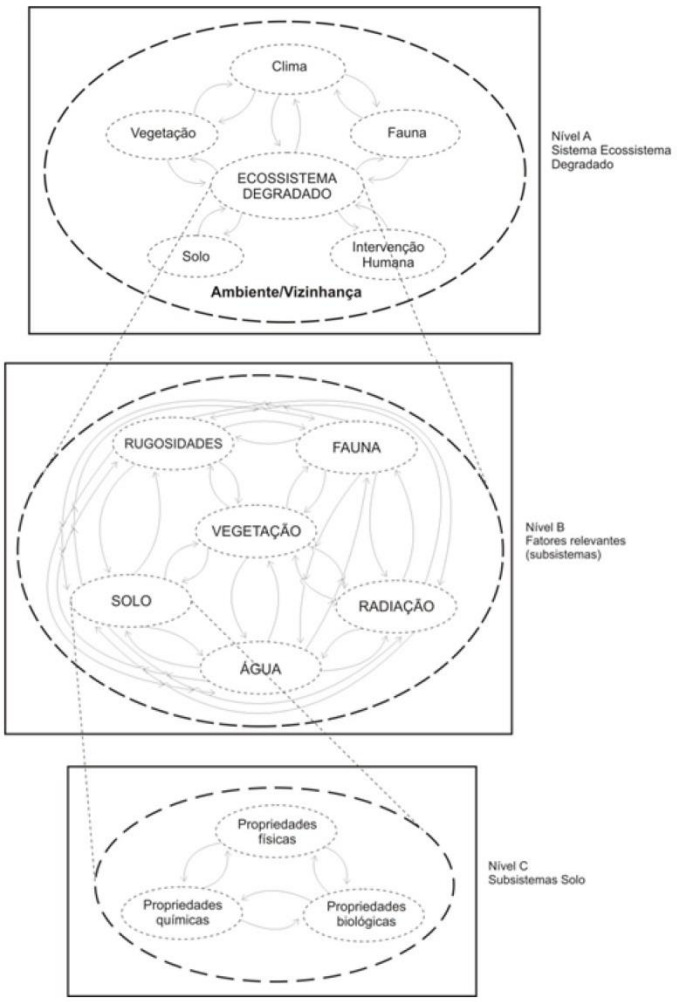

Figura 7 - Modelo simplificado de um sistema degradado e seus os componentes.
Fonte: Aumond (2007).

Modelo simples de um sistema degradado e seus os componentes do ambiente estão apresentados no Nível A. O Nível B representa os subsistemas ou elementos da área degradada, no Nível C estão apresentados os componentes do subsistema no caso do solo.

Após a escolha dos componentes do sistema para a área degradada da Mina Novo Mundo, “S” o modelo de um sistema ecológico definido, e assim determinar o grau de importância e a intensidade das relações entre si com o ambiente do entorno. Para ilustrar relações criou-se uma representação na forma de matriz (Quadro 1).

A intensidade das relações entre o ambiente junto aos componentes do sistema, e vice-versa, foi criada um quadro que representa os graus de intensidade, essa intensidade varia

entre zero e três que representam: 0 = a intensidade da relação é nula; 1 = a intensidade da relação é fraca; 2 = a intensidade da relação é média; 3 = a intensidade da relação é intensa ou forte.

Para determinar as intensidades das relações consideradas foi usado como base Aumond (2007), o autor através de observações chegou aos valores que representam as intensidades das relações entre os componentes do sistema "S", conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Matriz de grau de intensidade entre as relações dos componentes no sistema "S".

Componente influenciado / Componente que exerce influência	Solo	Vegetação	Vulnerabilidade a erosão	Ambiente
Solo	0	3	2	1
Vegetação	3	0	3	1
Vulnerabilidade a erosão	3	3	0	3
Ambiente	2	3	0	0

Fonte: baseado em Aumond (2007).

Através da matriz é possível estruturar a ideia do modelo do sistema ecológico no caso da recuperação da área degradada localizada na Mina Novo Mundo, pois ilustra as relações e intensidades que existem entre o sistema e os subsistemas que os formam.

Considerando sistêmica uma rede e as complexidades das interações de todos os fatores e elementos fundamentais no processo, desta forma evita a sobrevalorização ou subvalorização de um fator em detrimento de outros.

A recuperação de uma área degradada ou de um ambiente degradado não pode ser avaliada apenas de forma quantitativa como biométrica ou fertilidade de solo de maneira individualizada. E, sim, através de análises integradas e, assim, avaliar os elementos e fatores ecológicos e até comparar com outras áreas em processo de recuperação. Neste trabalho foi feita uma análise integrada desses elementos e suas relações, para desta forma entender a evolução onde o modelo ecológico auxilia nessa análise quanto à recuperação de uma área degradada.

O subsistema solo é afetado pelo ambiente devido condições climáticas como a precipitação. O solo também pode afetar o ambiente em função dos processos erosivos. A vulnerabilidade à erosão afeta o solo, a vegetação e o ambiente, uma vez que uma área vulnerável à erosão pode dificultar a manutenção de energia e matéria dentro do sistema.

O subsistema vegetação afeta o funcionamento da retroalimentação do tipo *feedback* de equilíbrio, uma vez que a vegetação interage diretamente no processos que evolve a evolução e no equilíbrio do ecossistema (VIVAN, 1998).

Já o ambiente, afeta como um todo o sistema degradado através das variáveis climáticas, sendo o ambiente a entrada de energia e matéria dentro do sistema (ODUM, 1988; RICKLEFS, 1996). O sistema degradado, por outro lado, afeta o ambiente pelas saídas como erosão. Com a abordagem metodológica baseada na Teoria Geral de Sistemas, no modelo apresentado, é possível observar se a intervenção humana através de PRAD promove melhorias na área degradada.

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

Até o ano de 1988 não havia a obrigatoriedade de realizar a recuperação das áreas degradas pelo impacto ambiental oriundo da atividade de mineração, fato esse mudado desde então, conforme o termo que dispõe o artigo 225, parágrafo 2º da Constituição Federal de 1988: aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperara o meio ambiente degradado, deverá acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei (BRASIL, 1988).

A Constituição atribui relevância à mineração e aos danos que possa causar ao meio ambiente, determinando ao empreendedor minerário à obrigatoriedade em recuperar o ambiente degradado (MILARE, 2013). Antigamente as minas eram simplesmente abandonadas, o que deixou de ser aceitável com a criação dos instrumentos legais (SÁNCHEZ, 2011); anteriormente os empreendedores minerários não eram obrigados a recuperar as áreas por ausência de legislação.

O Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) surgiu como um instrumento legal de controle da qualidade ambiental, possibilitando o preceito da Constituição Federal. A principal proposta do PRAD é apresentar técnicas nas quais ao final do empreendimento a área degradada pela mineração retorne as suas condições de equilíbrio (RODRIGUES, 2013).

Uma avaliação do ambiente encontrado na área de estudo permite integrar os seus elementos naturais conservados com elementos já antropizados, possibilitando assim a identificação dessas unidades dentro do sistema e suas fragilidades, o que melhora e dá segurança nas etapas de definição dos pesos para os fatores envolvidos, servindo de norte para

o gerenciamento dos dados e, consequentemente, possibilita avaliar o estado de equilíbrio ambiental (MARTÍN-DUQUE *et al*., 2012; TOMCZYK, 2011).

A ação do homem sobre o meio ambiente, sem um conhecimento prévio do equilíbrio dinâmico entre as unidades de paisagem natural, pode gerar grandes problemas ecológicos e econômicos. Desta forma, evidencia-se a necessidade de se conhecer as unidades que compõem a paisagem natural.

Nesse contexto, o entendimento do sistema ecológico junto às ferramentas de geotecnologia auxilia na integração dos atributos ambientais, tanto biótico quanto abiótico, componentes esses de um ambiente ou de uma área degradada, como é o caso da área de estudo; para com isso entender, analisar e ilustrar o grau evolutivo ou até mesmo o grau de fragilidade ambiental, tornando-se, assim, de suma importância uma metodologia de avaliação do PRAD.

5.1 Solo

Como a recuperação de áreas degradadas é um processo complexo e que envolve o conhecimento prévio dos processos que interferem profundamente no equilíbrio natural da passagem, faz-se necessário certo gasto de tempo para que o sucesso da recuperação ambiental possa ser atingido e as áreas possam apresentar características que leve à compreensão de que estão em bom estágio evolutivo.

Em conjunto aos resultados encontrados no que se refere ao grau da vulnerabilidade natural à erosão, foram avaliados dados referentes ao solo entre os anos de 2010 a 2019, e de vegetação entre os anos de 2009 a 2019, essas informações serviram de subsídio para compreender a evolução da área em recuperação ambiental que compõem a Mina Novo Mundo e seu atual estado de desenvolvimento.

A qualidade química do solo pode ser definida como a capacidade de funcionamento dentro de um ecossistema, sustentando a produtividade, suportando o fluxo oriundo do ambiente para dentro do sistema. Os processos erosivos, a compactação e a salinização são exemplos de fatores que alteram o equilíbrio do sistema. Por outro lado, o manejo correto e a recuperação de áreas degradadas através de boas práticas de conservação do solo e a correção de outros fatores de degradação podem melhorar as condições do solo (SANTOS, 2008).

Os gráficos de qualidade química de solo apresentaram tendência de aproximação com os valores das áreas sobre vegetação em condições naturais, que pode ser evidenciado nas Figuras 8, 9, 10, 11 e 12.

A matéria orgânica do solo constitui a base fundamental do componente solo de uma paisagem, principalmente em solos degradados, pois através dos seus efeitos diretos é capaz de modular as condições químicas, físicas e biológicas do solo, e, consequentemente, sendo considerada importante variável na melhoria do solo. Além disso, é considerada fonte de nutrientes para as plantas, influenciando na infiltração e retenção de água, estruturação e susceptibilidade do solo à erosão. Na Figura 8 é possível observar o comportamento da matéria orgânica do solo entre os anos 2010 a 2019. A literatura afirma que o incremento da matéria orgânica melhora a qualidade no solo, aumentando a estabilidade e agregação como densidade, porosidade e infiltração de água, entre outras características físicas do solo (BAYER; MIELNICZUK, 1999; ZERZGHI *et al*., 2010).

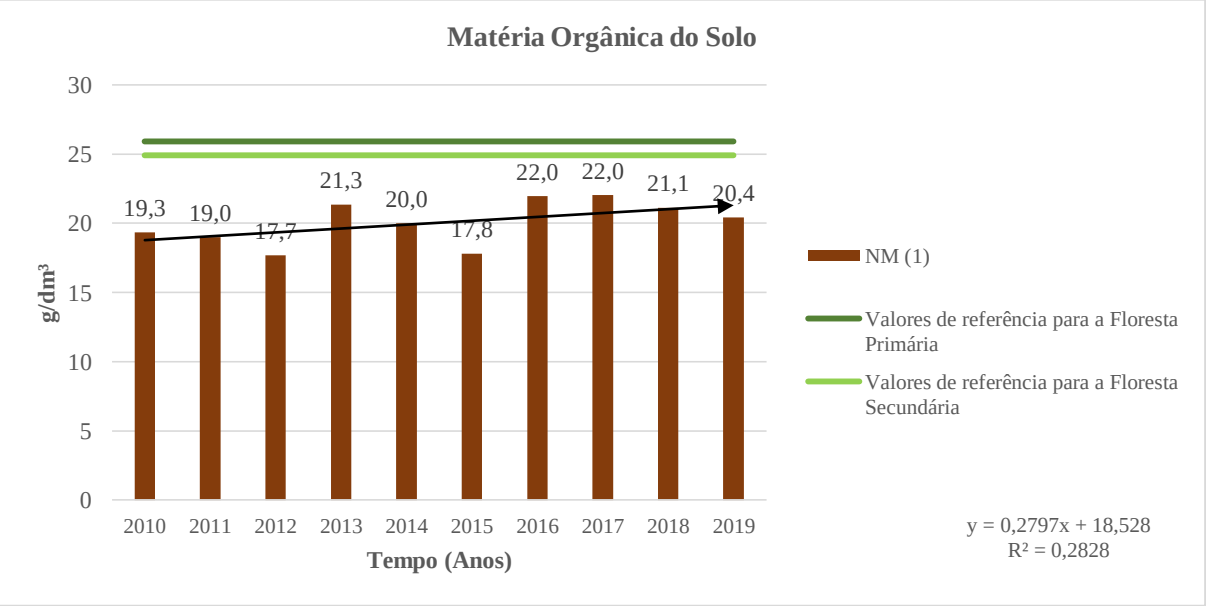

Figura 8 - Gráfico Comportamento da Matéria Orgânica do Solo.
Fonte: o autor.

Já entre os atributos químicos do solo afetadas pela matéria orgânica está o Comportamento da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) (Figrua 9), principalmente em regiões como solos tropicas que são altamente intemperizados (BAYER; MIELNICZUK, 1999).

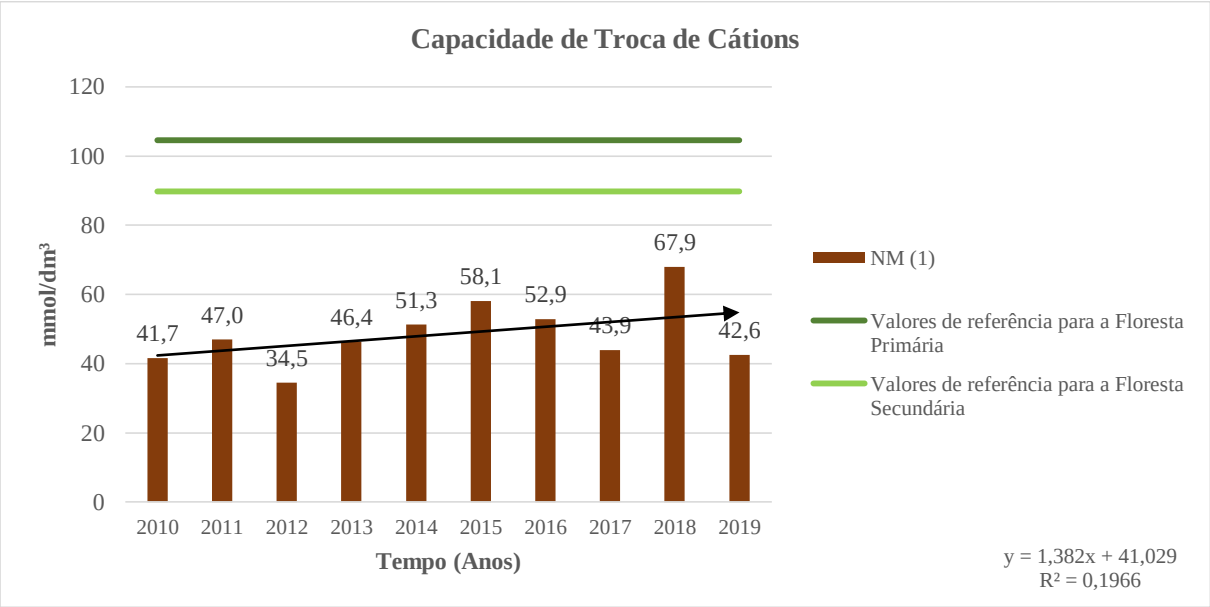

Figura 9 - Gráfico Comportamento da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do Solo.
Fonte: o autor.

Para Ronquim (2010), a saturação por base pode indicar boas ou ruins condições de fertilidade de um solo, podendo ser utilizada como complemento na nomenclatura dos solos. Os solos podem ser divididos de acordo com a saturação por bases: solos eutróficos (férteis) = V%≥50%; solos distróficos (pouco férteis) = V%<50% característico da grande maioria dos solos na Amazônia. A Figura 10 ilustra o comportamento da Saturação por Bases do Solo (V%).

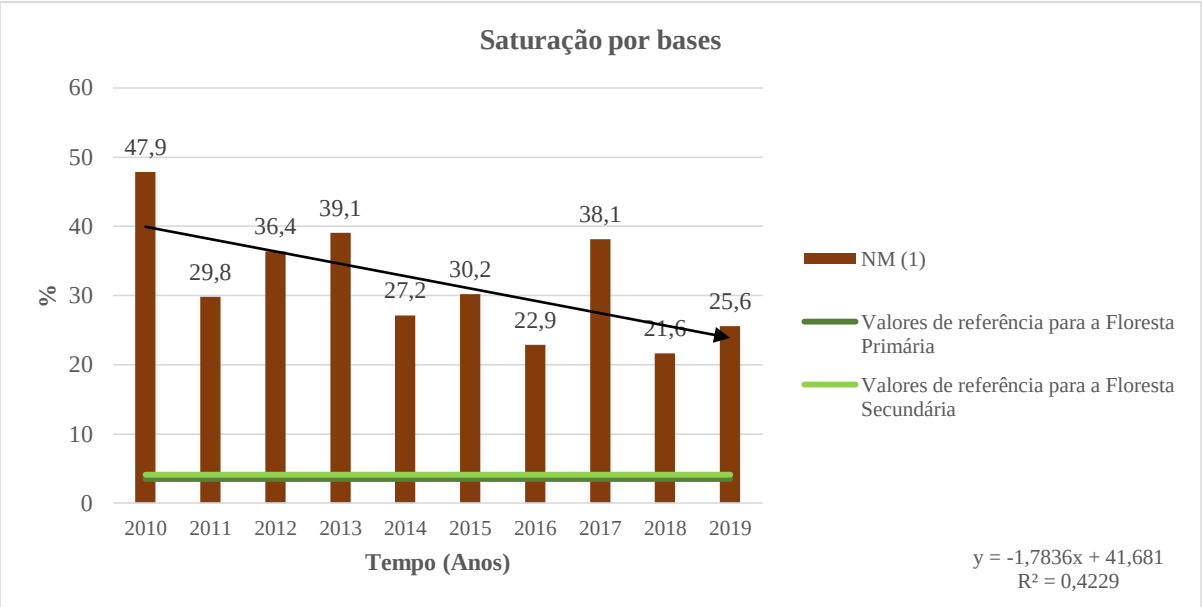

Figura 10 - Gráfico Comportamento da Saturação por Bases do Solo (V%).
Fonte: o autor.

Quanto ao pH (potencial hidrogeniônico), esse indica a quantidade de íons hidrogênio (H+) existente no solo. Logo, pode-se concluir que solos são considerados ácidos quando possuem muitos íons H+ e poucos íons como cálcio (Ca2+), magnésio (Mg2+) e potássio (K+) adsorvidos em seu complexo coloidal de troca. Na Figura 11 é possível observar o comportamento do pH, indicando uma estabilidade próxima dos solos de mata e capoeira quando comparados.

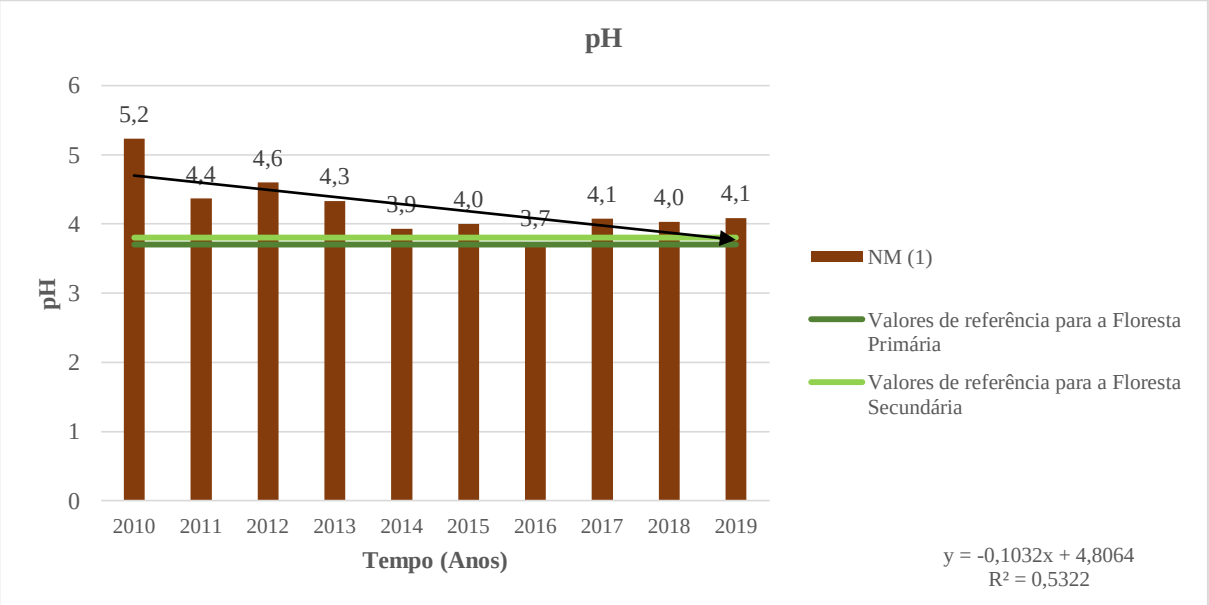

Figura 11 - Gráfico Comportamento do pH.
Fonte: o autor.

A Soma de Bases (SB) de um solo é representada pela soma dos teores de cátions, exceto H+ e Al^{3+}. Na Figura 12 pode-se observar que a evolução da Soma de Bases (SB) apresenta a maior variabilidade do coeficiente de determinação (R^2) em relação às demais variáveis; demonstrando uma característica típica de regiões tropicais que sofrem grande influência do clima (umidade e temperatura) na atividade microbiana do solo, esse comportamento é típico dos Latossolos distróficos encontrados no estado de Rondônia.

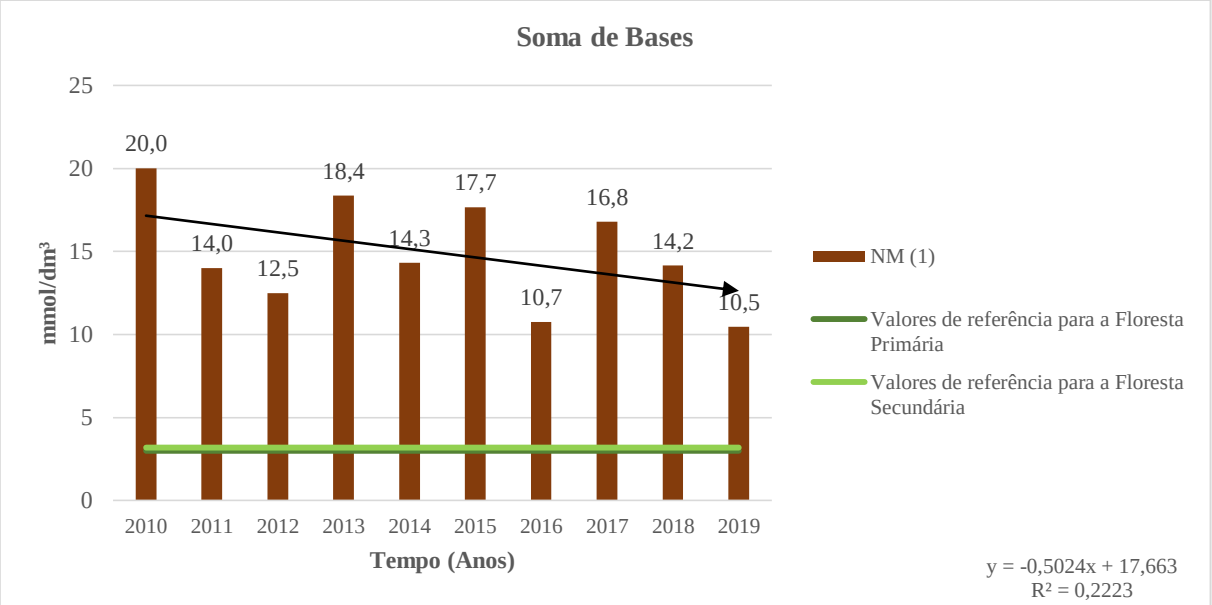

Figura 12 - Gráfico Evolução da Soma de Bases.
Fonte: o autor.

Em termos de variabilidade, os indicadores do solo mostraram oscilações em relação às regressões lineares, com exceção ao pH. Embora os valores dos coeficientes de determinação (R^2) tenham se apresentados baixos para matéria orgânica, CTC, V%; já a Soma de Bases (SB) apresentou maior variabilidade; permitindo inferir que o cenário descrito ilustra um típico solo que sofreu degradação.

Em termos evolutivos, a matéria orgânica e CTC apresentaram incremento moderado, aliada à variação identificada e às retas de regressão; os resultados indicam tendência de estabilização.

Embora o pH tenha atingido os patamares do solo em condições naturais (mata e capoeira), a V% e a SB ainda apresentam valores elevados em relação às áreas naturais, indicando uma reserva nutricional no solo que contribui para suportar o desenvolvimento da vegetação.

Em geral, pode-se verificar que os atributos do solo apresentaram tendências de aumento nos teores de matéria orgânica, CTC, V% e soma de bases. Em relação ao pH, os valores apontam claramente para uma tendência de aproximação com os valores encontrados nas áreas naturais.

Entre os anos de 2010 e 2019, praticamente para todas variáveis avaliadas, não se identificou grandes variações na fertilidade do solo. As variáveis Soma de Base (SB) e saturação de Bases (V%) e pH apresentaram uma tendência de diminuição, esse comportamento pode ser em parte explicado pela regressiva redução de entrada "*input*" de

adubo mineral formulado, o qual teve o encerramento total do aporte de adubação de cobertura em 2014. De acordo com Souza *et al*. (2006) variações nos teores dos atributos químicos do solo podem ser observados sobre a ótica das oscilações espaciais, pois os solos sofrem interferências dentro tanto do ambiente quanto dentro do sistema, um exemplo é a influência da declive e da chuva.

Dentro da visão dos geossistemas, o tempo mostrou que alguns atributos químicos do solo sofreram alterações que podem ser uma ação de lixiviação dentro do sistema, mesmo sabendo que as características do solo são fortes condicionantes para o desenvolvimento, composição e estrutura da vegetação (HARRIDASAN, 2000). Essas variações na fertilidade do solo não comprometeram o estabelecimento da vegetação no sistema.

Desta forma, no atual estado do PRAD, as características químicas não são fortes determinantes no processo, essa observação pode ser uma tendência de autorregulação do sistema, isso fica evidente quando analisamos os resultados nos quais os mesmos se mantêm próximos das áreas de referência floresta secundária (capoeira) e floresta primária (mata).

5.2 Vegetação

No contexto do geossistema, a vegetação se caracteriza por também estar diretamente ligada a toda dinâmica do sistema, pois está relacionada com a capacidade de proteção do e na melhoria física e química do solo.

As Figuras 13, 14, 15 e 16 demonstra como a vegetação dentro da área de estudo vem se desenvolvendo entre os anos de 2010 a 2019, o que permite observar que processos sucessionais estão ocorrendo. Analisando os gráficos, observa-se que a vegetação apresentou tendências positivas em sua evolução, se aproximando ou superando em alguns componentes os valores das áreas naturais.

O plantio desta área completou 14 anos de idade em 2019 e apresenta uma vegetação complexa e bem desenvolvida, com valores semelhantes às florestas secundárias do entorno para todos os parâmetros, menos em densidade de indivíduos dos estratos arbóreos (Tabela 2). O que se observa é o crescimento dos paramentos com passar do tempo (Figura 13, Figura 14, Figura 15 e Figura 16).

Entre os anos de 2018 e 2019 a densidade de indivíduos do estrato de regeneração atingiu valores semelhantes às florestas secundárias.

5.2.1 Altura Média

A altura média (Figura 13) do estrato arbóreo mais alto atingiu o valor observado nas florestas secundárias (capoeira) em 2014, se aproximando em 2019 das áreas de florestas primárias (mata). Esse crescimento, de maneira geral, é um aspecto ecológico relacionado às espécies, as quais as plantas pioneiras são de rápido crescimento (BURKART, 1978). O que se observa nos gráficos é um comportamento continuo no crescimento, principalmente a partir do ano de 2014, sendo possível notar que entre 2014 e 2019 esse parâmetro de altura média dobrou de tamanho.

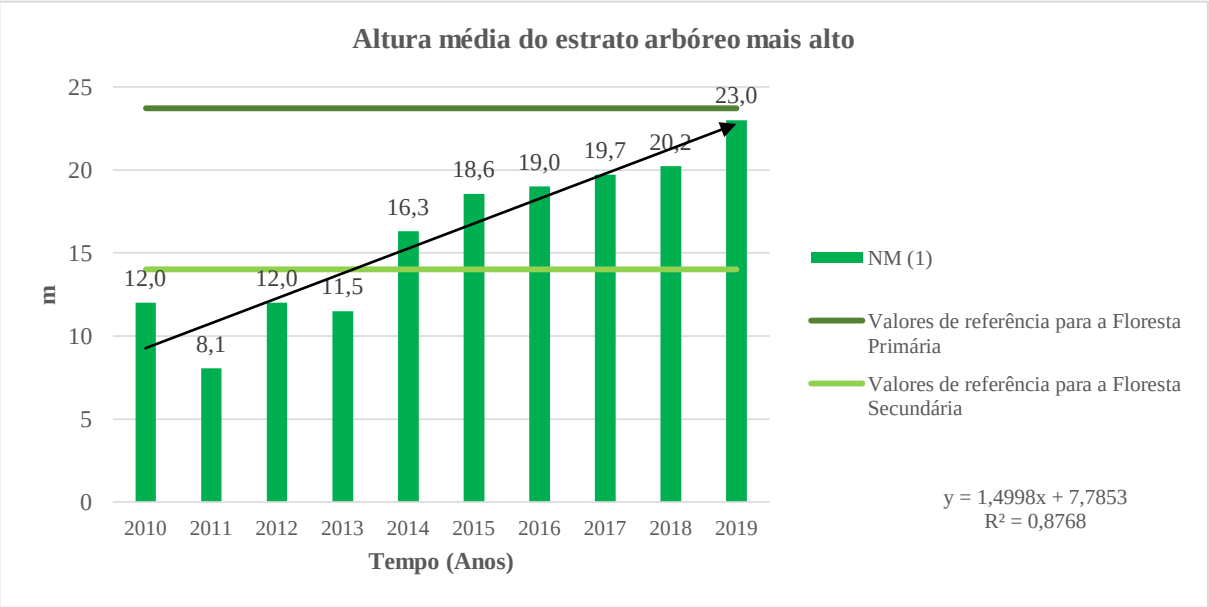

Figura 13 - Gráfico Evolução da altura da vegetação na Mina Novo Mundo.
Fonte: o autor.

5.2.2 Área Basal

A área basal da vegetação tem apresentado aumento gradativo ao longo do tempo, se aproximando dos valores encontrados nas florestas secundárias (Figura 14). Tal fato deve-se possivelmente à capacidade do solo em suprir as necessidades nutricionais da vegetação que, por consequência, se manifesta no incremento da área basal.

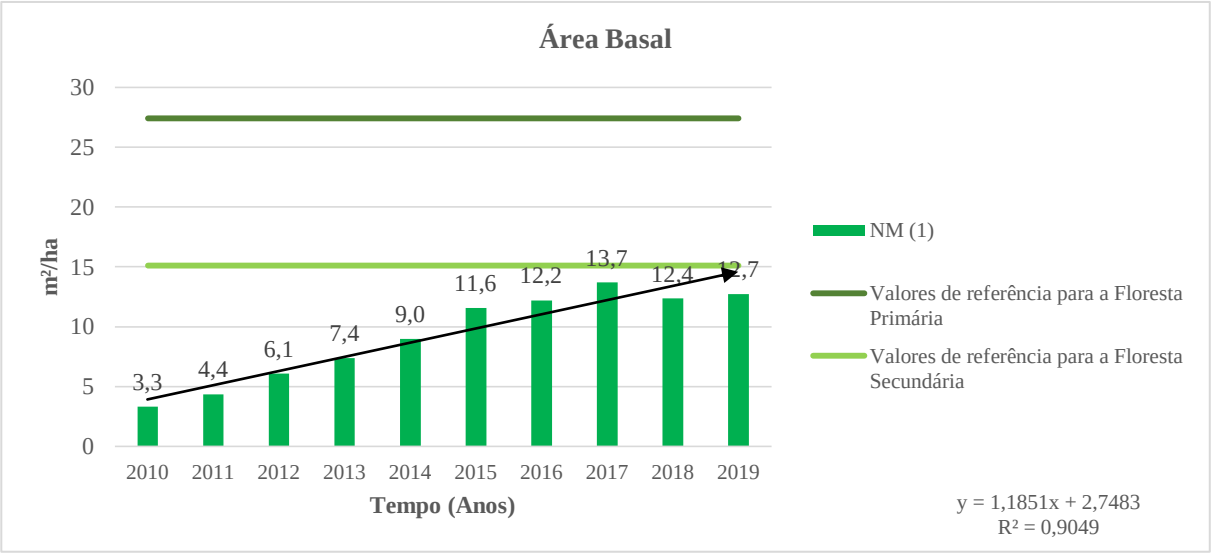

Figura 14 - Gráfico Incremento da Área Basal na Mina Novo Mundo.
Fonte: o autor.

5.2.3 Riqueza média por parcela

A riqueza de espécies tem apresentado uma evolução positiva, se aproximando da floresta secundária (Figura 15), mostrando que a área de estudo está avançando para um sistema mais complexo, envolvendo outras variáveis ecológicas e fazendo com que se estabeleçam plantas de características zoocóricas e anemocóricas.

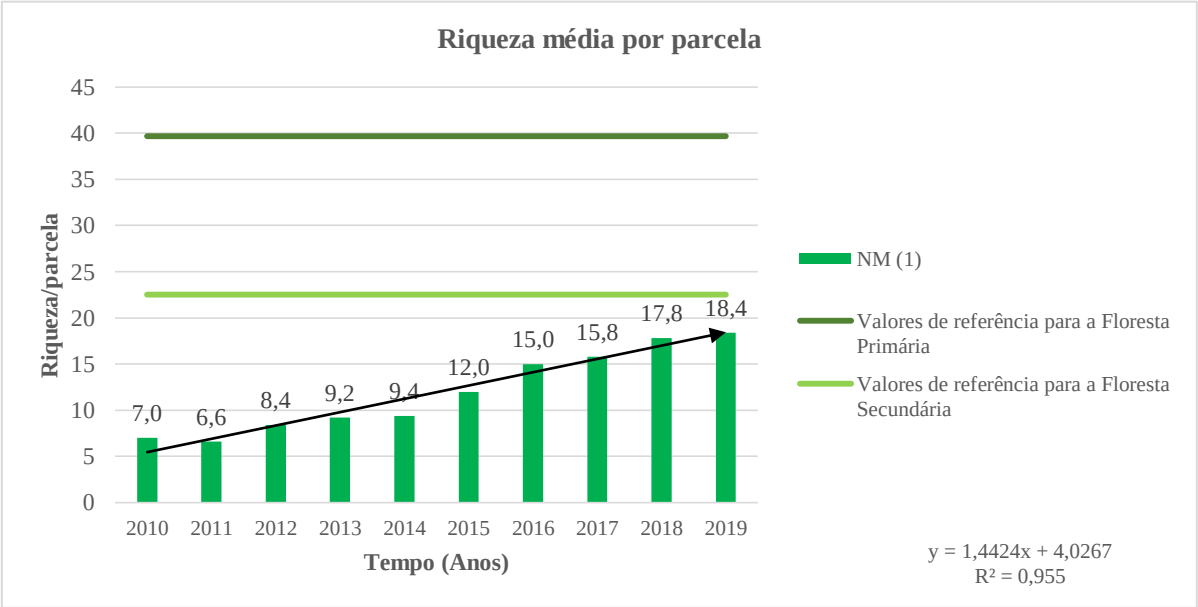

Figura 15 - Gráfico Dinâmica da Riqueza de Espécies nas Parcelas.
Fonte: o autor.

5.2.4 Densidade

A densidade média de indivíduos desta área é de 19.817 ind/ha, sendo 19.540 ind/ha no estrato de regeneração e 277 ind/ha no estrato arbóreo. A regeneração natural contribui com 94% dos indivíduos. A taxa de mortalidade é baixa, sendo que entre os anos de 2018 e 2019 apenas 16 indivíduos morreram.

A recuperação ambiente desta área em 2019 completou 14 anos de idade e já apresentava uma vegetação complexa e bem desenvolvida, com valores semelhantes com o ambiente do entorno, no caso florestas secundárias para todos os parâmetros, menos densidade de indivíduos do estrato arbóreo (Tabela 2), mas este tem aumentado consistentemente ao longo dos anos (Figura 16).

Entre os anos de 2018 e 2019 a densidade de indivíduos do estrato de regeneração atingiu valores semelhantes aos encontrados no ambiente do entorno, florestas secundárias. A densidade de regenerantes naturais apresentou significativo aumento ao longo do tempo, esta informação pode ter relação direta no aumento da riqueza e diversidade de espécies, uma vez que vão se tornando mais complexas a relação vegetação, solo, fauna e fatores edáficos.

O estrato de regeneração inclui os estratos 01 a 03 que contêm os indivíduos com altura maior que 30 cm e diâmetro do tronco menor que 10 cm. Este estrato é o que concentra o maior número de indivíduos (80% dos indivíduos amostrados) e de espécies (93% das espécies amostradas).

A maioria destas espécies provém da regeneração natural (86% das espécies do estrato de regeneração não foram plantadas). Florestas tropicais em processo de sucessão normalmente apresentam este padrão de elevada densidade e riqueza nos estratos menores, o que garante a mudança na composição de espécies e aumento da diversidade de espécies dos indivíduos adultos ao longo do tempo. No caso das áreas em recuperação, a regeneração natural tem papel essencial neste processo de sucessão de espécies. No caso da recuperação ambiental da Mina Novo Mundo, a densidade e diversidade da regeneração natural têm aumentado significativamente ao longo do tempo (Figura 7) em resposta às melhores nas condições dos componentes do sistema, o que mostra a capacidade da área em amortizar e suportar a entrada de energia e matéria no sistema. A regeneração natural tem maior importância nos estratos de 01 a 03, os quais contemplam 92% dos indivíduos.

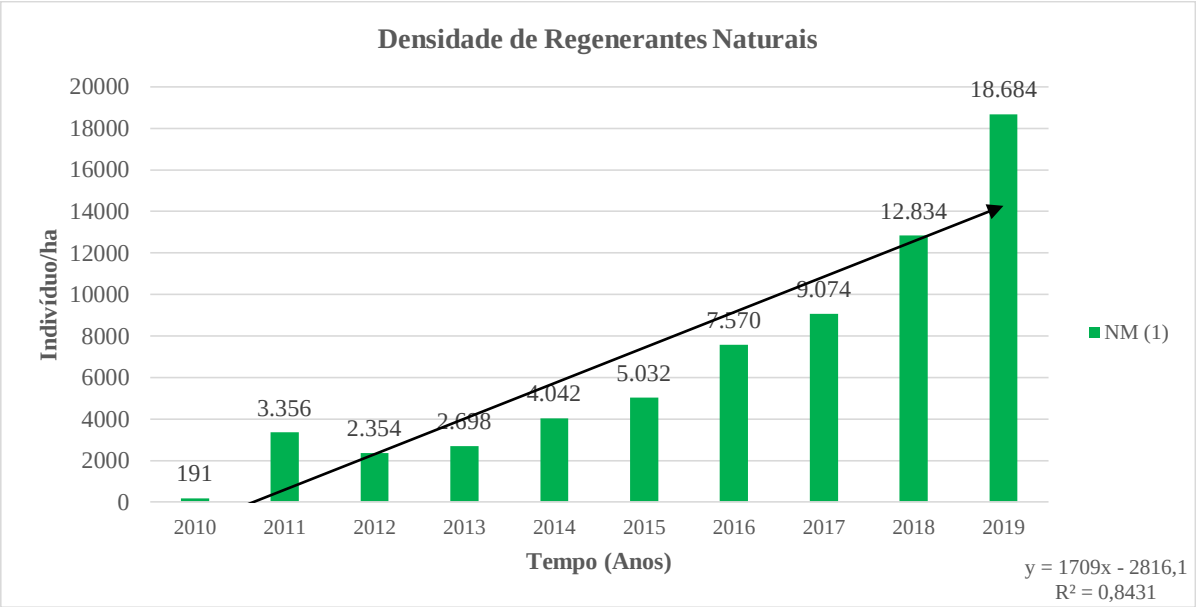

Figura 16 - Gráfico Evolução da Densidade de Regeneração Natural.
Fonte: o autor.

Em termos de variabilidade dos valores obtidos em relação às regressões lineares, todos os indicadores mostraram-se bem representados pelas regressões, com exceção da altura média que apresentou coeficiente de determinação (R^2) entre 0,8 e 0,9.

5.2.5 Característica Florística e Fitossociológica

Em 2019, as espécies com maior IVI foram *Inga laurina* e *Myrcia splendens*, a *Inga laurina* (Fabaceae), conhecida como ingá xixica, possui elevado índice de valor de importância (IVI) devido à elevada área basal (alta dominância: DoR%) e à alta frequência de ocorrência (FR%: ocorrem em mais de 50% das parcelas) (Tabela 4). Ambas as espécies foram plantadas em elevada densidade no início das atividades de recuperação, sendo, portanto, os indivíduos mais velhos dos plantios, o que fez com que elas sejam hoje as principais representantes do estrato arbóreo (DAP > 10 cm) das áreas em recuperação. Vale ressaltar que *S. cumini* está sendo eliminado do sistema por ser uma espécie exótica à flora regional.

A espécie *Myrcia splendens* (Myrtaceae) é a segunda espécie com maior IVI; esta espécie regenera naturalmente em elevada densidade (99% dos indivíduos provêm de regeneração natural), possui alta frequência (ocorre em 43% das parcelas), o que faz que tenha elevado IVI, apesar da baixa área basal, que gera um baixo valor de dominância relativa (DoR%). É uma espécie de arvoreta típica de florestas sucessionais da Amazônia, que

produzem frutos comestíveis dispersos pela fauna, o que serve de indicador de que o sistema alcança níveis inferiores dentro da hierarquia do geossistema, pois são plantas que necessitam da fauna para dispersarem suas sementes para dentro das áreas em recuperação.

As espécies que apresentaram maior IVI, IVC foram: *Inga laurin; Myrcia splendens; Croton matourensis; Siparuna guianensis; Schizolobium parahyba; Senna multijuga; Vismia guianensis; Stryphnodendron pulcherrimum; Inga edulis; Jacaranda copaia; Schefflera morototoni; Stryphnodendron sp.; Byrsonima crispa.*

Para as sete espécies com maior índice de valor de importância na área de estudo é apresentado o número total de indivíduos amostrados (nº indiv), frequência relativa (FR), densidade relativa (DR), dominância relativa (DoR), o índice de valor de importância (IVI) e o índice de valor de cobertura (IVC), conforme (Quadro 2).

Quadro 2 - Lista das 07 espécies com maior IVI e IVC.

Família	Espécie	Nº indiv	FR (%)	DR (%)	DoR (%)	IVC	IVI
Fabaceae	*Inga laurina* (Sw.) Willd.	554	3.6	5.6	24.4	30.0	33.6
Myrtaceae	*Myrcia splendens* (Sw.) DC	1647	2.1	16.8	0.4	17.2	19.3
Euphorbiaceae	*Croton matourensis* Aubl.	22.3	1.5	2.3	7.4	9.7	11.1
Siparunaceae	*Siparuna guianensis* Aublet	707	2.2	7.2	0.0	7.2	9.4
Fabaceae	*Schizolobium parahyba*(Vell.)	86	1.2	0.9	6.3	7.2	9.4
Fabaceae	*Senna multijuga* (Rich.) H.S.Irwin & Barneby	126	1.3	1.3	5.6	6.9	8.2
Hypericaceae	*Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy	548	1.8	5.6	0.2	5.8	7.6

Fonte: o autor.
Nota: nº indiv=número total de indivíduos amostrados, FR=frequência relativa, DR=densidade relativa, DoR=dominância relativa, IVI=índice de valor de importância, IVC=índice de valor de cobertura.

Algumas espécies *Siparuna guianensis* e *Vismia guianensis* não contribuem com a área basal (AB), mas apresentam alta densidade e frequência de ocorrência, sendo ambas provenientes exclusivamente da regeneração natural.

As 05 famílias que apresentaram maior número de indivíduos em ordem decrescente foram: Fabaceae; Myrtaceae; Hypericaceae; Siparunaceae e Euphorbiaceae.

De modo geral as espécies mais abundantes na área em recuperação são de características ecológicas conhecidas como pioneiras e possuem o crescimento rápido, que suportam condições ambientais adversas, sendo típicas de estágios iniciais de sucessão (Mesquita *et al*., 2011), sendo amplamente distribuídas na Amazônia (STEEGE *et al*., 2013) e nas florestas secundárias da FLONA do Jamari (JAKOVAC; JUNQUEIRA, 2010).

A listagem de espécies encontradas em 2019 na área em recuperação está demonstrada no Apêndice A.

5.3 MAPAS

5.3.1 Mapa Geomorfológico da área de estudo

A FLONA do Jamari apresenta poucas mudanças na paisagem no que diz respeito às configurações regionais de relevo. Dessa forma, predomina o Domínio de Superfícies Aplainadas do Sul da Amazônia, que constitui o mais extenso domínio geomorfológico de Rondônia, ocupando toda a porção central do estado (RADAMBRASIL, 1978; ADAMY, 2002).

Podem ser encontrados os agrupamentos fisiográfico desta unidade. Além disso, evidencia-se a característica do domínio de aplainamento na FLONA do Jamari. Entretanto, essa extensa paisagem formada pelas superfícies aplainadas é interrompida por porção oeste e sul da UC, apresentando relevo do tipo morros e colinas. Outras feições geomorfológicas ilustradas, mas pouco significativas, são as áreas alagadas, como as planícies de inundação às margens do Rio Jamari, e os lagos resultantes da Usina Hidrelétrica de Samuel e da atividade de mineração.

Quanto à vulnerabilidade natural à erosão do tema de geomorfologia, propostos por Crepani *et al*. (2001), as diferentes feições geomorfológicas, as que apresentam menor vulnerabilidade estão dentro das classes superfícies de aplanamentos e tabulares, já as classes que apresentam maiores vulnerabilidades estão inseridas nos agrupamentos de morros e planícies inundáveis.

Uma característica importante na determinação do grau de vulnerabilidade quanto à geomorfologia é a intensidade de dissecação do relevo, na qual quanto menor for dissecação do relevo, menores serão os valores para as unidades geomorfológicas. As unidades geomorfológicas que apresentarem mais intensidades de dessecação terão valores da escala de

vulnerabilidade maiores (próximos de 3,0), o que faz essa feição estar dentro da classe vulnerável.

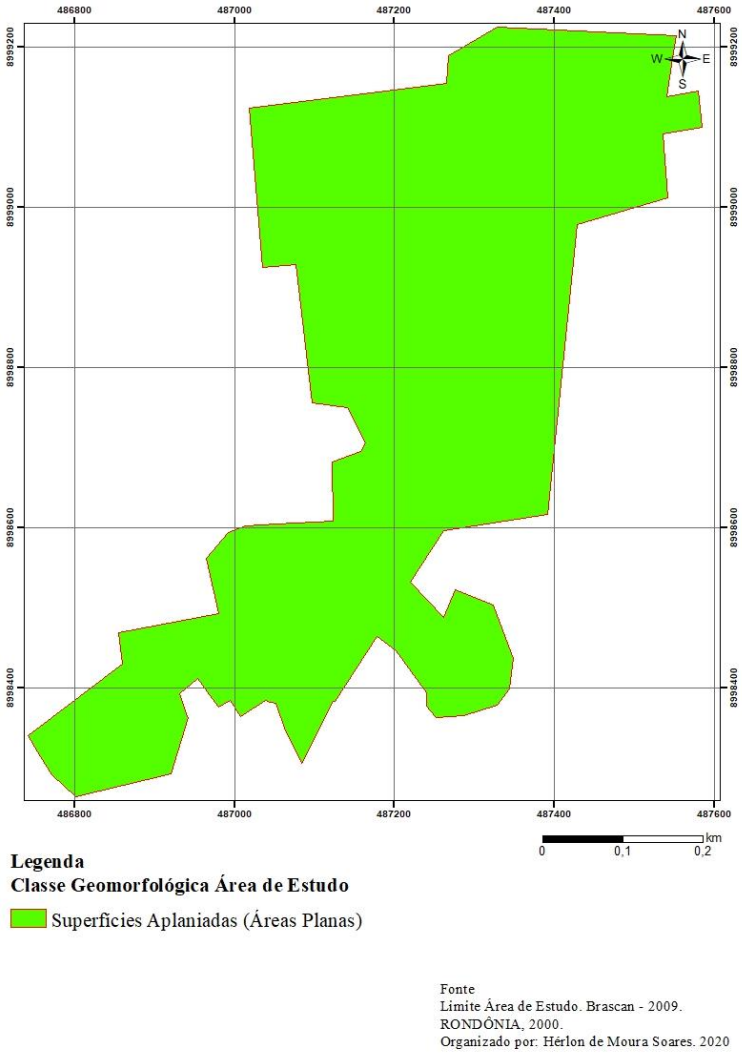

Figura 17 - Mapa Geomorfológico da área de estudo.
Fonte: o autor.

5.3.2 Mapa de Solos da área de estudo

Na FLONA do Jamari os solos predominantes são os do tipo Latossolos, sendo um solo típico de Superfícies de Aplainamento. Além disso, estão bem distribuídos na área de estudo. Outros tipos de solos existentes são os Plintossolos, Neossolos e Podzólicos/Argissolos.

Os Latossolos têm como características serem bem intemperizados, desenvolvidos, constituídos por material mineral apresentando Horizonte B latossólico, normalmente é baixa a mobilidade das argilas no Horizonte B, profundos ou muito profundos, podendo variar de

bem drenado à fortemente drenado, e são típicos das regiões equatoriais e tropicais e de zonas planas (MMA, 2005).

Os Argissolos podem ser encontrados em todas as regiões pedobioclimáticas do Brasil (IBGE, 2007); é a segunda ordem de solo mais expressiva na FLONA do Jamari, conforme ilustrado na Figura 9; sua característica é possuir diferenciação entre suas camadas ou horizontes bem nítidos, como Horizonte B textural imediatamente abaixo do horizonte A ou E, em muitos casos com aumento abrupto nos teores de argila; podendo ter textura argilosa, média e arenosas, formando assim uma ordem de solo bastante heterogênea, abrangendo solos distróficos e eutróficos, rasos à muito profundos, presença ou não de cascalho. Além disso, podem ocorrer em áreas planas e montanhosas, o que o deixa mais exposto aos processos erosivos (OLIVEIRA, 2007).

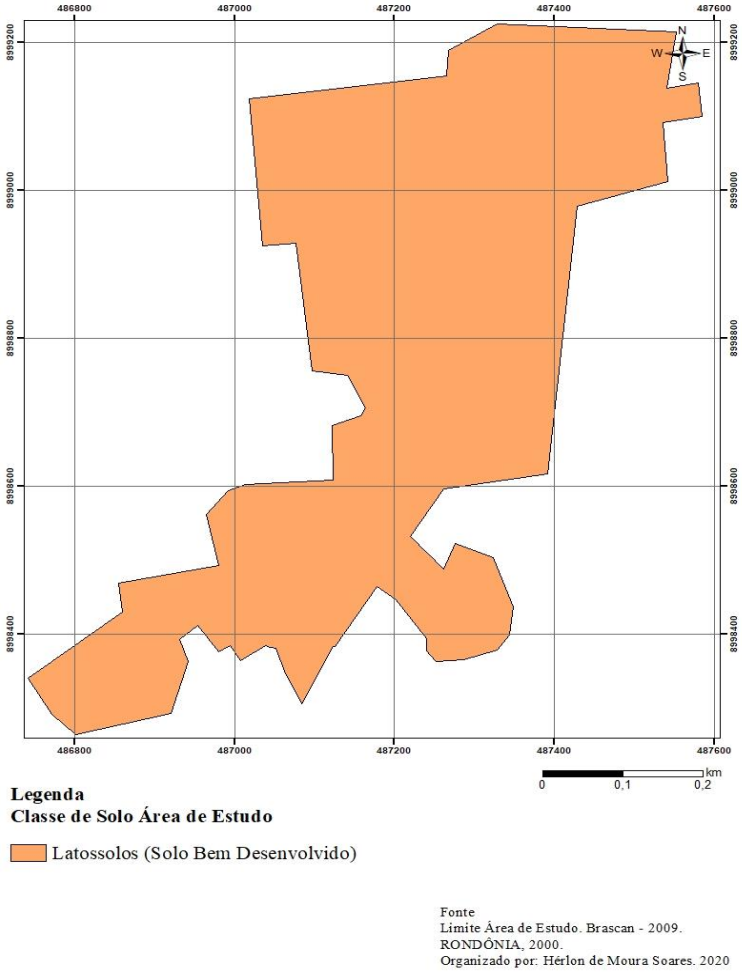

Figura 18 - Mapa de Solos da FLONA da Jamari
Fonte: o autor.

5.3.3 Mapa Geológico da Mina Novo Mundo

A coesão das rochas é uma informação básica na Geologia para entender a Ecodinâmica, já que rochas menos coesas predominam os processos que transformam o relevo, enquanto que nas rochas mais coesas predominam os processos de formação de solos (CREPANI *et al*., 2001).

O estado de Rondônia possui uma longa história geodinâmica datada ao final do período Paleoproterozoico (1,8 a 1,9 Ga2), estabilizando no período Neopro (900 Ma), e está inserido no sudoeste do Cráton Amazônico (MMA, 2005).

As principais ocorrências geológicas na FLONA do Jamari são originárias das rochas ígneas, sendo que nela estão inseridos os granitos jovens de Rondônia, as metamórficas na qual inclui o embasamento Pré-Rondoniano, sedimentares compostos pelas Coberturas Quaternárias Neogênicas.

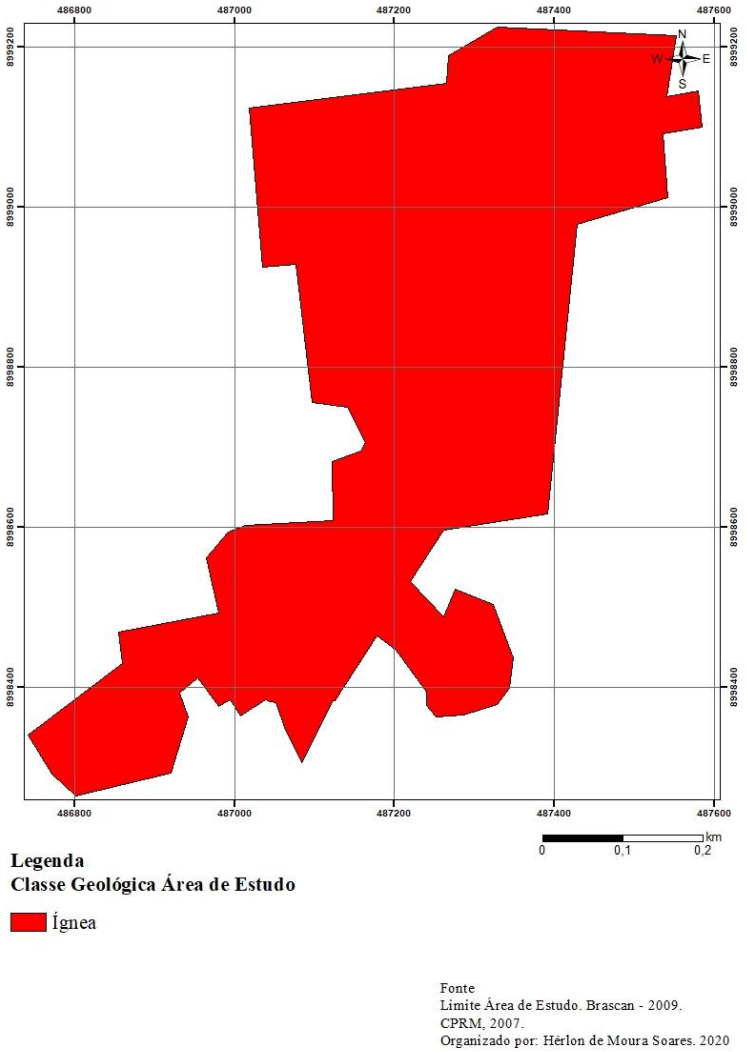

Figura 19 - Mapa Geologia área de estudo.
Fonte: o autor.

5.3.4 Mapa de Vegetação da área de estudo

A Floresta Amazônica encontra-se em um delicado equilíbrio, o que a faz ter um ecossistema muito frágil, e depende diretamente da matéria orgânica, da estrutura e umidade do solo e do nível do lençol freático. As árvores possuem um papel fundamental na paisagem, pois influenciam na ausência de vento, protegem do sol e dos impactos das chuvas, além de contribuírem no ciclo da água através da transpiração, isso faz com que a vegetação dependa da distribuição das chuvas durante o ano (CREPANI *et al*., 2001).

Na FLONA do Jamari a vegetação que prevalece é a Floresta Tropical Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta, podendo ser composta por palmeiras ou cipós; este tipo de vegetação tem como características indivíduos arbóreos espaçados entre si (MMA, 2005).

Na Figura 11 é possível identificar que a área de estudo apresenta uma vegetação secundária.

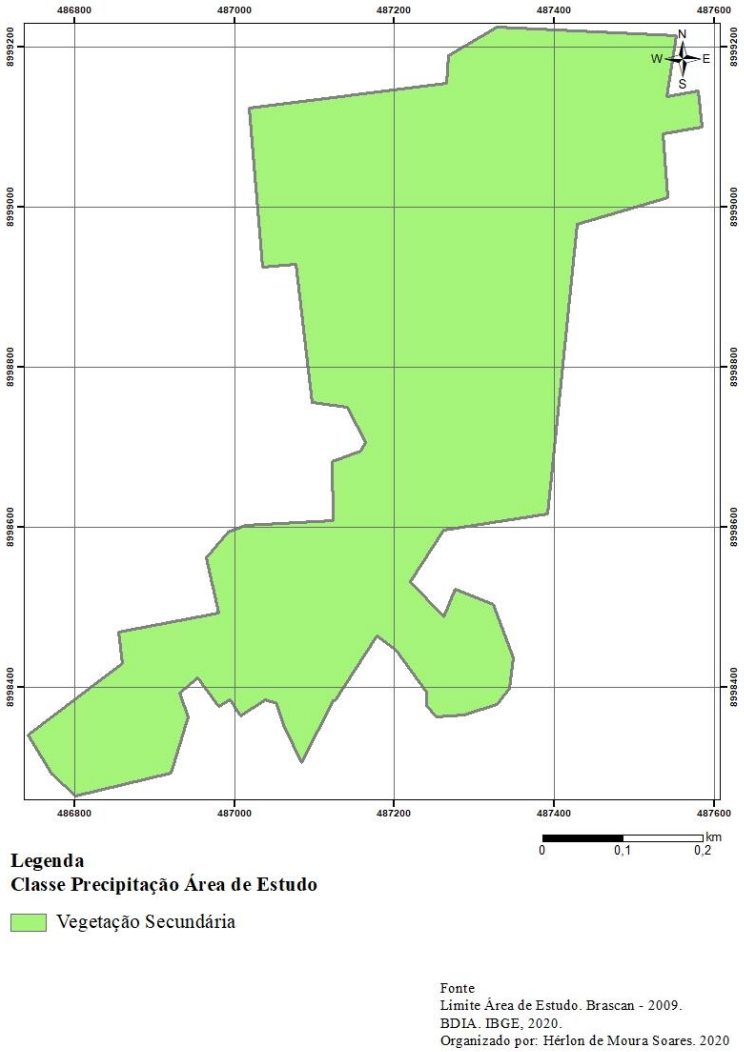

Figura 20 - Mapa de Classe da Vegetação da área de estudo
Fonte: o autor.

5.3.5 Mapa de Precipitação da área de estudo

A região da FLONA do Jamari possui um clima equatorial úmido, essa característica favorece o desenvolvimento da vegetação e existe uma interação entre essas unidades clima e plantas.

A ação das chuvas sobre as rochas promove o fenômeno chamado denudação, o que faz ocorrer o intemperismo, e ao longo do tempo o efeito da chuva sobre o solo acarreta o

escoamento que, consequentemente, ocasiona a erosão hídrica, fazendo com que o solo seja o agente passivo e a chuva seja o agente ativo no processo.

A FLONA do Jamari possui um acúmulo de chuvas variando entre 2.100 e 2.600 mm/ano, a área de estudo se encontra na faixa de 2.500 mm/ano, como pode ser observado na Figura 21. O período mais chuvoso é entre os meses de outubro e abril, já o período mais seco ocorre entre junho e agosto, sendo maio e setembro meses de transição.

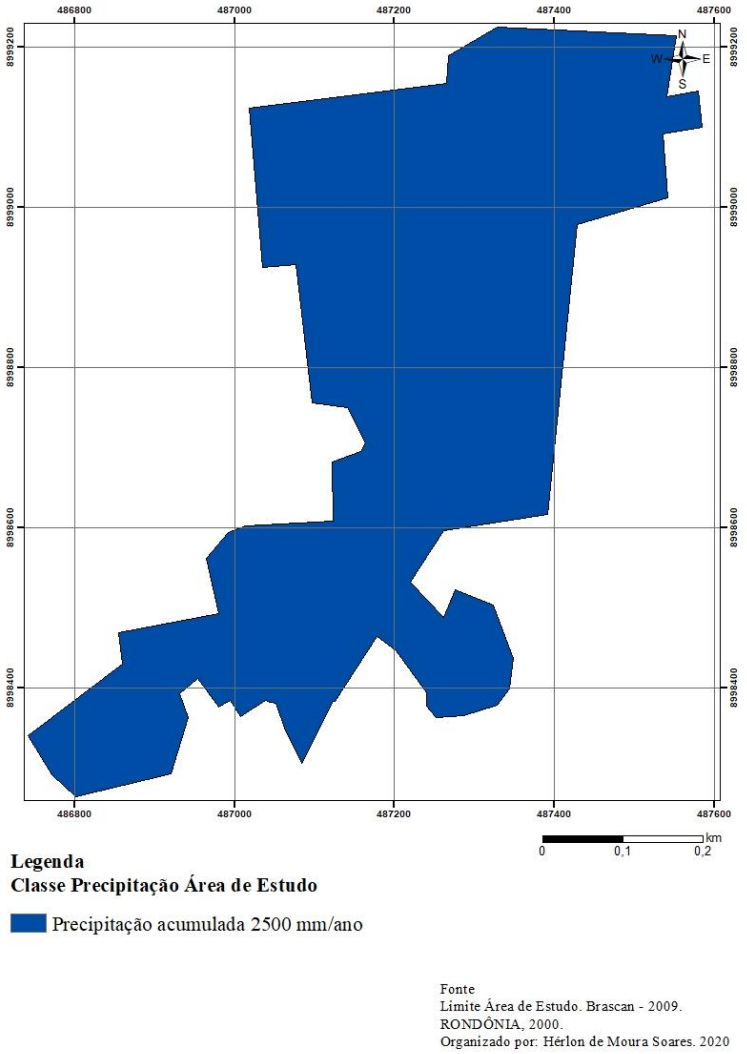

Figura 21 - Mapa de Precipitação da área de estudo.
Fonte: o autor.

5.3.6 Mapa da área de estudo em 2006 e 2019.

De acordo com Crepani *et al.* (2001), o tratamento digital das imagens é utilizado como âncora na metodologia proposta por ele para editar os Planos de Informação (PI), bem como elaborar, construir, manipular e interpretar o banco de dados sobre as imagens permite

criar as Unidades Territoriais Básicas (UTB) que integram as paisagens naturais ou modificadas pelo ser humano; os polígonos das áreas antropizadas podem estar localizados sobre única ou diversas UTB. A Mina Novo Mundo está inserida sobre diversas UTB compostas por vários PI's, como o geológico com rochas Ígneas, a geomorfologia Áreas Aplainadas, precipitação de entorno de 2.5000 mm/ano, solo Latossolo e vegetação Ombrófila. Tanto a vegetação quanto o solo são totalmente atingidos quando se instala uma mineração. A Figura 22 ilustra a paisagem da mina em 2006 através do satélite *Landsat 5*.

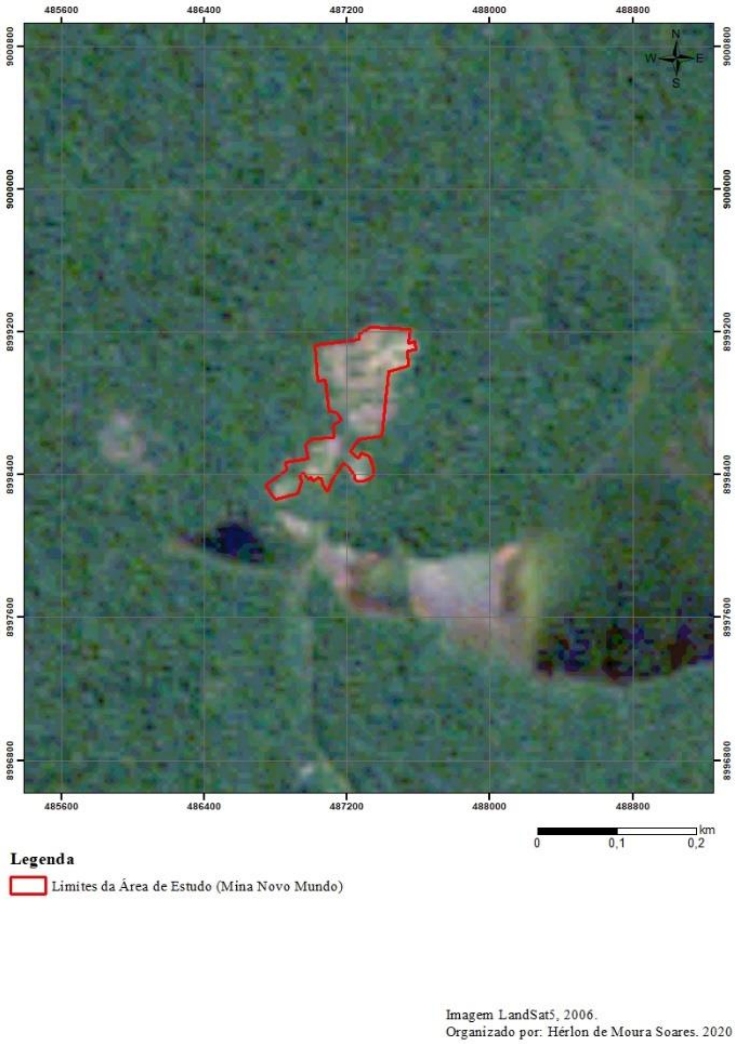

Figura 22 - Imagem Landsat 5 da área de estudo em 2006.
Fonte: Fonte: o autor.

Através da imagem é possível observar o estado da paisagem no ano de 2019, composta por características do PI, nas quais mesmo com solo degradado se mostra com uma cobertura do solo composto por vegetação de estrado arbóreo, mostrando a capacidade de suporte do solo mesmo depois de degradada (Figura 23).

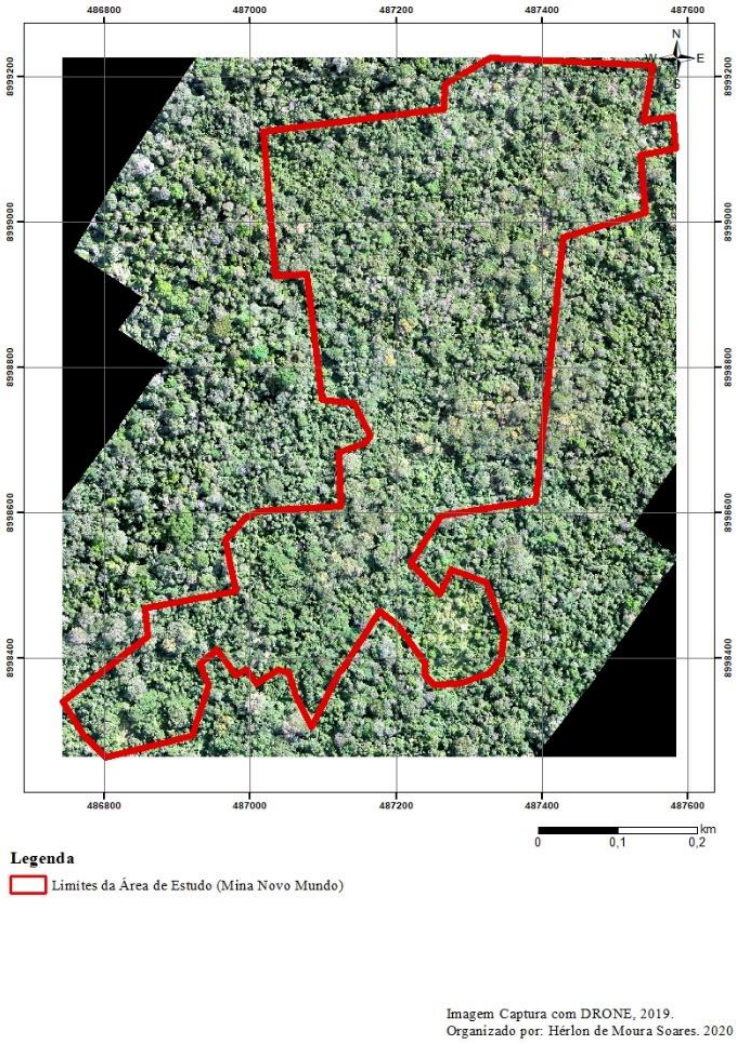

Figura 23 - Mapa da área de estudo em 2019.
Fonte: o autor.

5.3.7 Mapa de Cobertura do Solo da área de estudo

A imagem da Figura 24 foi processada considerando as composições coloridas da faixa do visível da banda RGB para que fosse possível gerar o índice Vegetação para a Mina Novo Mundo.

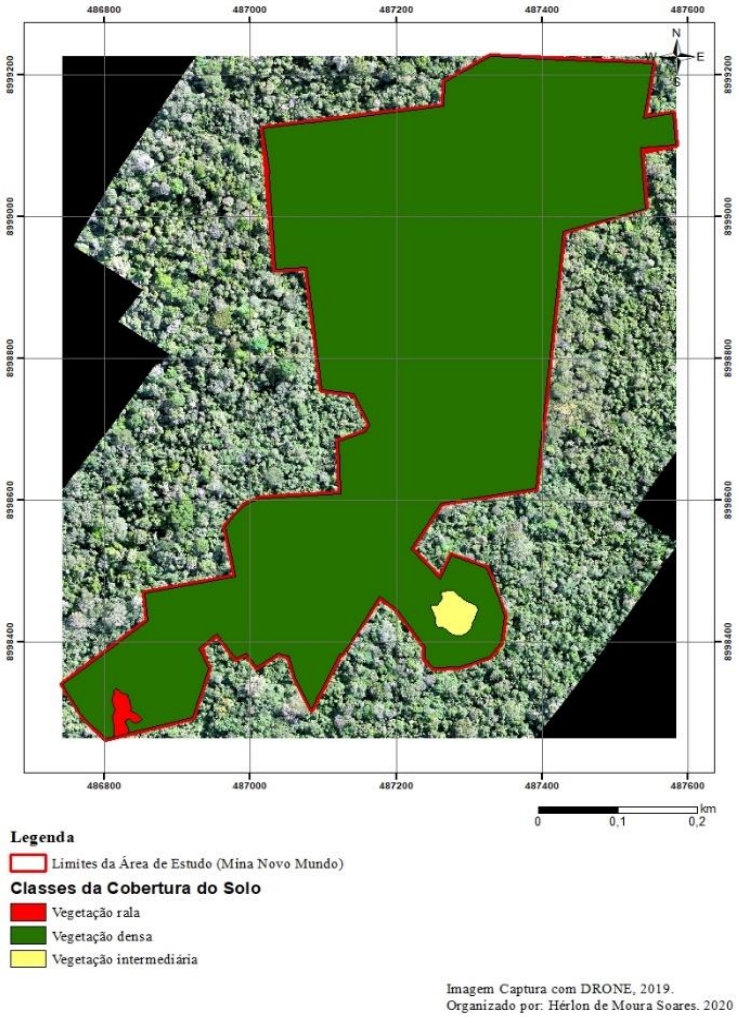

Figura 24 - Mapa das Classes de Cobertura do Solo da área de estudo
Fonte: o autor.

Na Tabela 9 podem-se observar as áreas obtidas para cada classe de cobertura. Evidencia-se que houve uma predominância da vegetação densa, sendo que esta apresentou 98,9% da área de estudo. Nesse contexto, a cobertura vegetal se caracteriza por estar ligada a dinâmica das unidades de paisagem natural, portanto, está relacionada com capacidade de proteção do solo. Isso é evidente nos processos pedogenéticos, nos quais a cobertura vegetal densa favorece a maturação do solo.

Tabela 2 - Classes de Cobertura.

Tipo de Classe	Tamanho (ha)	Porcentagem (%)
Vegetação Densa	31,62	98,9
Vegetação Intermediaria	0,26	0,8
Vegetação Rala	0,09	0,3
Total	**31,97**	**100**

Fonte: o autor.
Nota: ha=hectares.

5.3.8 Vulnerabilidade Ambiental da Mina Novo Mundo

Para analisar os processos que influenciam a vulnerabilidade (ou seja, que estão ligados à morfogênese e à pedogênese) realizou-se uma classificação de acordo com os índices que representam a Mina Novo Mundo; por se tratar de uma área com o tamanho relativamente pequeno (31,97 ha), então não apresentou grupos de classes para os temas geomorfologia, geologia, clima; quanto ao solo foi considerado degradado e a vegetação foi considerada as características da Figura 24.

As classes de vulnerabilidade dos temas da Mina Novo Mundo podem ser observadas na Figura 25.

TEMA	GRAU DE VULNERABILIDADE	CLASSE/PESO	COR DA CLASSE
GEOLOGIA: ÍGNEA	Estável	1,0	
GEOMORFOLOGIA: SUPERFÍCIE DE APLAINAMENTO	Estável	1,0	
PEDOLOGIA: SOLO DEGRADADO	Vulnerável	3,0	
CLIMA: 2500 mm	Mediamente Estável/Vulnerável	2,2	
COBERTURA DO SOLO: VEGETAÇÃO DENSA	Estável	1,0	
COBERTURA DO SOLO: VEGETAÇÃO INTERMEDIÁRIA	Mediamente Estável/Vulnerável	2,0	
COBERTURA DO SOLO: VEGETAÇÃO RALA	Vulnerável	3,0	

Figura 25 - Classes de Vulnerabilidade dos Temas da Mina Novo Mundo.

Fonte: baseado em Crepani *et al*. (2001).

Para a confecção do mapa de vulnerabilidade natural à erosão da Mina Novo Mundo, a utilização de ferramentas de geotecnologia permitiu construir sobreposição através da álgebra de mapas dos temas presentes na Figura 25. Após essa etapa, foram identificadas duas classes de vulnerabilidade natural à erosão, sendo essas, Medianamente Estável/Vulnerável e Moderadamente Estável (Figura 26).

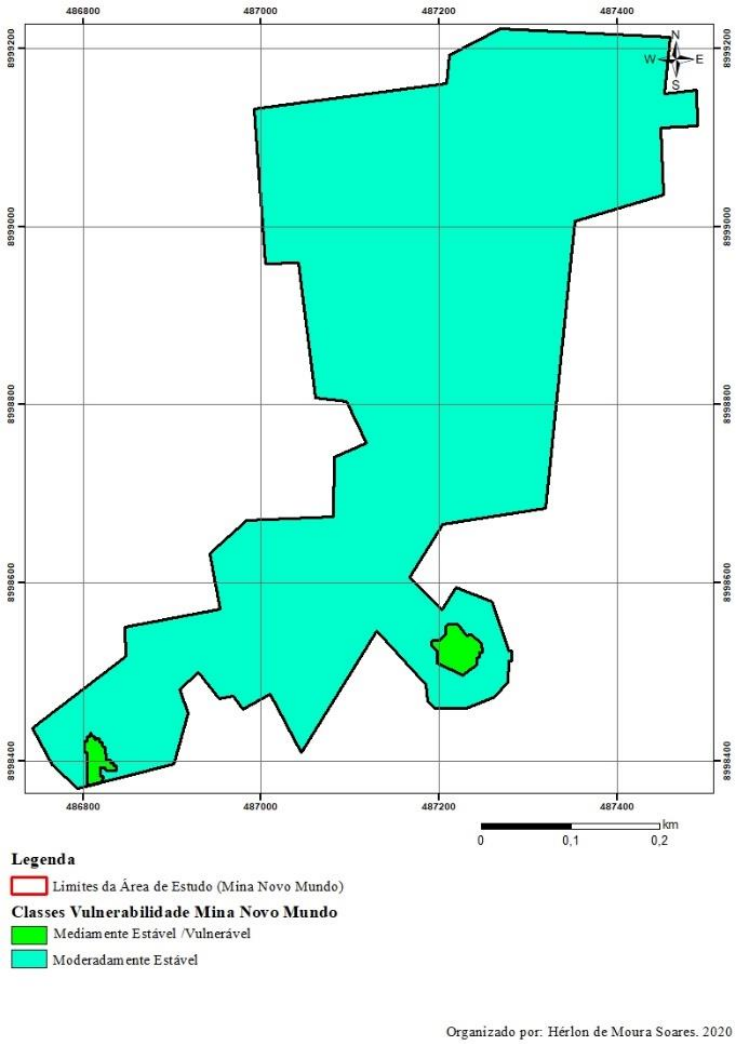

Figura 26 - Mapa de Vulnerabilidade da Mina Novo Mundo.
Fonte: o autor.

A classe Moderadamente Estável apresentou uma área de 31,62 ha, já a classe Mediamente Estável/Vulnerável apresentou uma área igual a 0,11 ha. Ou seja, existe uma predominância da classe Moderadamente Estável, sendo que esta ocupa 98,90% da Mina Novo Mundo.

Como a área de estudo se trata de uma antiga área de mineração, nesse espaço houve a supressão da vegetação natural e remoção do solo para dar lugar ao processo de lavra, então esta área se tornou degrada e vulnerável à erosão natural.

De acordo com Dall'igna (2015), a classe de vulnerabilidade da Mina Novo Mundo é a mesma classe na qual a região foi classificada em seu trabalho considerando todos componentes ou temas naturais, ou seja, classe Moderadamente Estável. Sendo assim, esta ocupa uma porção da paisagem da FLONA do Jamari de 74,05%, ou seja, 164398,53 ha. Gomes *et al*. (2011) destaca o predomínio da classe vulnerabilidade Moderadamente Estável na FLONA do Jamari considerando suas diversas unidades de paisagem.

O resultado encontrado neste trabalho para a Mina Novo Mundo após sofrer forte antropização oriunda da atividade de exploração mineral desenvolvida, quando comparado com os trabalhos Dall'igna (2015) e Gomes *et al*. (2011), estão dentro da mesma classe de vulnerabilidade. Isso significa que mesmo havendo a antropização da área decorrente da mineração, que ocasionou modificações expressivas de algumas UTB na comparação com as mesmas condições naturais, como no solo e vegetação. Nesse contexto, a área em recuperação ambiental apresentou boa evolução quanto ao grau de vulnerabilidade natural à erosão, estando hoje em grande parte de sua área dentro da mesma classe de quando possuía as características naturais antes de ser minerada, afirmação que pode ser notada na comparação dos trabalhos supracitados neste parágrafo.

Outra variável importante destacada através dos gráficos foi Vegetação. De acordo com Crepani *et al*. (2001) as informações oriundas da Fitogeografia são muito relevantes, uma vez que a cobertura vegetal é uma defesa contra os efeitos dos processos modificadores da unidade de paisagem, como os erosivos que formam o relevo.

A cobertura vegetal contribui para a proteção da paisagem por diversas formas, sendo essas: evita o impacto da chuva sobre o terreno que promove, evitando o desagregamento das partículas; impede a compactação do solo; eleva a capacidade de infiltração de água no solo; suporte da vida silvestre, entre outras.

Figura 27 - Formação de Horizonte Orgânico da Mina Novo Mundo.
Fonte: o autor.

Figura 28 - Aspecto da Vegetação na Área em Recuperação da Mina Novo Mundo.
Fonte: o autor.

6 AVALIAÇÃO DO SISTEMA DA ÁREA DE ESTUDO

Partindo da percepção que a recuperação de áreas degradadas nas quais os ecossistemas conservados são vistos como supersistemas e possui a função de estruturas dissipativa, como abordado em Prigogine *et al*. (1997; 1984), pode-se entender que os ecossistemas são estruturas organizadas de forma fechada, possui suas populações de animais e vegetais já estabelecidas, sendo o objetivo da recuperação criar condições para que os processos de recuperação criem essas estruturas.

As estruturas são formadas por um conjunto de componentes e estão sempre sofrendo mudança motivada pelo fluxo de matéria e energia externa. Uma vegetação nativa no entorno de uma área em recuperação é um sistema aberto ao fluxo de energia e matéria, mas suas estruturas e seus componentes (como: solo, vegetação e fauna) estão organizadas em forma de rede de iterações complexas capazes de retroalimentarem-se.

Desta forma, os processos de recuperação ambiental necessitam buscar técnicas que permitam internalizar parte do fluxo de energia e matéria para conduzirem à auto-organização, assim criando naturalmente estruturas que favoreçam a evolução e complexidade no sistema.

A melhoria efetiva do solo/substrato tanto nas características físicas quanto químicas pode ser uma chave para acelerar a recuperação e aumento da complexidade, como a internalizar os fluxos de matéria e energia no sistema, favorecendo o estabelecimento da fauna e da flora.

Partindo da abordagem de Prigogine *et al*. (1997), baseada na concepção de Bertalanffy, o processo de recuperação ambiental de áreas degradadas deve ter a perspectiva que os seres vivos se mantêm devido ao fluxo de matéria e energia, dinâmico, e são mantidos pela instabilidade do sistema. Assim, nas áreas degradadas deve haver um contínuo processo de incorporação de matéria e energia, abordadas como sistemas abertos.

Desta forma, a revegetação de uma área degradada encontrará uma situação ecológica ativa, o que estimula mecanismos para criar um estado de organização ecológica elevado. Um exemplo pode ser observado no trabalho de Aumond (2007), no qual foi provocada uma desordem espacial da superfície da área degradada construindo rugosidades. Com o aumento da superfície do terreno o fluxo de matéria e energia aumentou, bem como o contato com água, entre outros, criando assim um fluxo de matéria e energia no sistema, buscando condição de equilíbrio dinâmico ou, como expressou Bertanlanffy (1975), *fliessgleichgewicht*,

o que aumenta as potencialidades dos processos ecológicas dentro do ambiente em recuperação.

Em resumo, foi preciso desorganizar a paisagem considerada morta para que se tornasse uma paisagem viva. Nessa ótica, analisamos se as ações do PRAD estimularam essa desordem de ambiente morto. À priori, o que podemos destacar é a decisão de lançar material, como serapilheira e plantio por de 03 anos de plantas da espécie leguminosa forrageiras, com intuito de acelerar a cobertura e proteção do solo e também a melhoria de qualidade química através da fixação biológica de nitrogênio (FBN) promovida por essas plantas.

O que se nota são PRAD's que ignoram essas teorias e se utilizam de práticas consideradas cartesianas de recuperação, o que não favorece as ações de retroalimentação. Os elementos que compõem um sistema em recuperação, como a fauna e flora, devem ser o reflexo de toda uma engrenagem ecológica que contribuirá para uma teia complexa e com interligações, assim contribuindo para internalizar os fluxos. Nesse contexto, o modelo ecológico proposto para recuperação do ambiente degradado é uma ferramenta importante para entender a evolução temporal das relações de retroalimentação entre as variáveis.

Como observado nas Figuras 23 e 25, evidencia-se uma evolução nos componentes do sistema em recuperação. As variáveis do solo demonstram reservas nutricionais quando comparadas ao ambiente natural do entorno. O componente "Vegetação" demonstra bom desenvolvimento, com importantes incrementos em termos de altura e crescimento dos regenerantes naturais. A riqueza de espécies vem se aproximando do ambiente das florestas secundárias. A localização do sistema favorece a entrada de propágulos, contribuindo, assim, ao desenvolvimento da regeneração natural.

Como consequência de internalização do fluxo de matéria e energia, a cobertura florestal apresentou-se densa e bem distribuída em toda a área, com padrões próximos aos observadas no do entorno, com 98,9% do solo/substrato coberto por vegetação com padrão densa.

Em virtude dessa cobertura florestal, observa-se uma alta concentração de matéria orgânica na área, o que garantirá que as reservas nutricionais aliadas ao desenvolvimento florestal contribuirão, ao longo do tempo, para uma maior estabilidade e complexidade do sistema.

A matéria orgânica tem uma função importante na retroalimentação do sistema, pois expressada a capacidade de reciclagem dos nutrientes, contribui na manutenção da umidade

do solo, mostrando-se uma ótima estratégia de entrada e conservação energética, como prevista nas Leis da Termodinâmica (VIVAN, 1998).

Desta forma, através de uma avaliação integrada entre as variáveis que compõem a área associado ao levantamento de campo, é possível evidenciar que a área de estudo está em processo evolutivo, uma vez que é notório que os processos de vulnerabilidade à erosão estão caminhando para a classe estável, onde o solo está como tendência de melhoria de suas concisões, possuindo uma capacidade de suportar uma vegetação densa e suas dinâmicas ecológicas (Figuras 26 e 27).

7 CONCLUSÃO

Os resultados encontrados para componentes no solo e vegetação da área em recuperação se mostraram, ao longo do tempo, com tendência de crescimento, e se tornaram cada vez mais semelhantes aos ambientes do entorno às florestas nativas, principalmente para com as florestas secundárias do entorno. A vegetação vem aumentando de forma gradual e contínua no número de espécies, resultado da entrada e manutenção de energia e material oriunda em grande parte dos ambientes de florestas adjacentes e da autorregulação do sistema, propiciando condições adequadas para germinação e estabelecimento das plântulas.

Partindo da ideia que as áreas degradadas são sistemas sensíveis às condições iniciais para recuperação, uma vez que mesmo degradadas são áreas com um sistema complexo dinâmico, o PRAD executado na área de estudo mostrou-se como uma alternativa de modelo de sistema para a recuperação da área degradada resultante da atividade de mineração de cassiterita. Norteado pela linha de pensamento do geossistema e tendo como base um modelo ecológico teórico que incluiu os componentes solo e vegetação para avaliar a recuperação ambiental.

Partindo da necessidade de um *input* inicial, o plantio de leguminosas por três anos se mostrou efetivo, o que contribui para a internalização da matéria e energia, protegendo o solo, evitando o carreamento de sedimentos, a produção de matéria orgânica e nutriente, evoluindo, assim, na recuperação ambiental. A melhoria da variável ambiental solo, resultante do modelo apresentado no PRAD, favoreceu o desenvolvimento da cobertura vegetal e, consequentemente, anulando o surgimento de processos erosivos, como foi ilustrado no mapa de vulnerabilidade à erosão.

Com os resultados obtidos podemos observar as melhorias resultantes da evolução do solo e da composição florística entre os anos avaliados. Na pesquisa ficou evidente a importância da cobertura do solo na internalização e manutenção do fluxo de energia e matéria para construção do ecossistema, deixando, assim, de ser uma área degradada.

Desta forma, observa-se que os trabalhos de recuperação de áreas degradadas devem abordar os sistemas como abertos e conduzir para uma organização fechada, mantendo o fluxo de matéria e energia aberto de forma a buscar um equilíbrio dinâmico.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, W. A. P.; MELLO, J. W. V. de. Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada. In: DIAS, Luiz Eduardo; MELLO, Jaime Wilson Vargas de (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas. Viçosa**, MG: UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1988.

ADAMY, A. **Estudos das formas de relevo**. Atlas Geoambiental de Rondônia. Porto Velho: SEDAM, v. 2, p. 3-6, 2002.

ALMEIDA, D. S. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. Editus, 2016.

ALVARENGA, M. I. N.; SOUZA, J. A. **Atributos do solo e o impacto ambiental**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997.

ARAUJO, E. R.; OLIVIERI, R. D.; FERNADES, F. R. C. Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente. 2014. In: FERNANDES, F. R. C.; ALAMINO, R. de C. J.; ARAUJO, E. R. (Eds). **Recursos Minerais e Comunidade**: impactos humanos, socioambientais e economicos, p. 1-12. Rio de Janeiro, CETEM/MCTI; 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13030: **Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração**. Rio de Janeiro, 1999.

AUMOND, J. J. **Adoção de uma nova abordagem para recuperação de área degradada pela mineração.** 2007. 265 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

BARBOSA, C. C. F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE, 1997.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. Brasília: Petrópolis/Vozes, 1975.

BATISTA, G. M. de M.; LEITE, L. L. Adoção de técnicas de espectrorradiometria de reflexão como indicativo de recuperação de áreas degradadas: Contribuição ao conhecimento ecológico do cerrado. In: **Congresso de Ecologia do Brasil**. p. 197-310, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênesis, 1999.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal.** SAE – Secretária de Assuntos Estratégicos/MMA – Ministério do Meio Ambiente, Brasília/DF, 1997.

BECKER, B.K. **Amazônia**. Ática: São Paulo, 1998.

BERRY, J. K. Cartographic modeling: the analytical capabilities of GIS. In: **Environmental modelling with GIS**, New York, Oxford University Press, 1993.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1975.

BOJÓRQUEZ-TAPIA, L. A.; CRUZ-BELLO, G. M.; LUNA-GONZÁLEZ, L. **Connotative land degradation mapping: a knowledge-based approach to land degradation assessment**. Environmental modelling & software, v. 40, p. 51-64, 2013.

BRAGA, B *et al***. Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Roger Trimer, 2004. 395 p.

BRASCAN. **Plano De Recuperação De Áreas Degradadas**. Anexo IV -Monitoramento Das Áreas Em Recuperação Na Flona Do Jamari/RO – Estabelecimento De Indicadores. Floresta Nacional Do Jamari/RO, 2009a.

BRASCAN. **Proposta de metodologia de levantamento e monitoramento da vegetação apresentada ao IBAMA, como parte das exigências da licença de operação.** Itapuã do Oeste, RO. Julho de 2009b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. **Lei Federal nº 9.985**, de 18 de julho de 2000. Brasília: MMA/SBF, 2000.

_____. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília: Senado, 1988.

_____. Ministério de Minas e Energia (MME). **Plano Nacional da Mineração**. Brasil: Brasília (DF), 2011.

BROWN, S.; LUGO, A. E. **Rehabilitation of tropical lands: a key to sustaining development**. Restoration Ecology, v. 2, n. 2, p. 97-111, 1994.

BURKART, A. Leguminosas mimosoideas. In: REITZ, P. R. **Flora ilustrada catarinense**. Itajaí: Herbário Barbosa Rodrigues, 1978. p. 179-185.

CABRAL, V. M. *et al*. Seleção de espécies leguminosas fixadoras de nitrogênio para utilização na recuperação de áreas mineradas pela Companhia Vale do Rio Doce. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – ÁGUAS E BIODIVERSIDADE, 5., 2002, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sobrade, 2002. p. 463-465.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J.S. **Fundamentos epistemológicos da ciência da geoinformação.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 1996.

CAPRA, F. **A teia da vida:** uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Cutrix, 1996. 256 p.

CAMARGO, L. H. R. **A ruptura do meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. 240 p.

CARDINALI, M. *et al*. **A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy**. Natural Hazards and Earth System Sciences 2002; 2(1/2): 57-72.

CARPANEZZI, A. A. *et al*. **Funções múltiplas das Florestas: conservação e recuperação do meio ambiente**. In: Congresso Florestal Brasileiro. 1990. p. 216-221.

CARVALHO, B. P. B.; Contribuições da análise de geosssistemas na recuperação de áreas degradadas por mineração. In: **Caderno da Geografia**. v.21, n.36, 2011. ISSN 0103-8427.

CHAGAS, M.A. **Conflitos, gestão ambiental e o discurso do desenvolvimento sustentável na mineração no estado do Amapá**. Tese de Doutorado. Belém: UFPA/NAEA, 2010.

CHELLY, R.; MANIESI. V. **Vulnerabilidade à erosão no município de Rio Branco, Acre: Aplicação de técnicas de geoprocessamento**. In: Seminário Internacional Amazônia e Fronteiras do Conhecimento, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos - NAEA/UFPA, Belém, 17p, 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Ministério do Meio Ambiente. **Resolução n. 001/86, de 23 de janeiro de 1986**.

COY, M. **Desenvolvimento Regional na Periferia Amazônica**. Organização do espaço, conflitos de interesses e programas de planejamento dentro de uma região de "fronteira": O caso de Rondônia. In AUBERTIN, C. (org.). Fronteiras, Brasília: Editora Universidade de Brasília: Paris: ORSTOM,1988.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos, INPE, 1996.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S; FILHO, P.H.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos, INPE, 2001.

CRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. [S.I.]: Edgard Blücher, 1999.

CURTIS, J.T.; MCINTOSH, R.P. **The interrelations of certain analytic and synthetic phytosociological characters**. Ecology, 31 (3): 434-455; 1950.

DALL'IGNA, L.G. **Vulnerabilidade natural à erosão da Folha Presidente Médici – Rondônia**. Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Fundação Universidade Federal de Rondônia. Núcleo de Ciências e Tecnologia, 2005.

_____. **A Mineração e o Garimpo de Cassiterita em Rondônia**. In: A Terra em Revista, Ano 2, n.1, CPRM, 1996.

DALL'IGNA, F. **Dinâmica geoambiental da floresta do Jamari e seu entorno: um estudo de caso com aplicação da geotecnologia**. Dissertação apresentada ao programa de pós-

graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Fundação Universidade Federal de Rondônia. Núcleo de Ciências e Tecnologia, 2015.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. **Conceituação e caracterização de áreas degradadas**. Recuperação de áreas degradadas, v. 1, 1998.

DIAS, L. E. Caracterização de substratos para fins de recuperação de áreas degradadas. In: DIAS, Luiz Eduardo; MELLO, Jaime Wilson Vargas de. **Recuperação de áreas degradadas.** Viçosa, MG: SOBRADE, 1998. p. 28-444.

FERNANDES, F. R.C.; LIMA, M. H. M.R.; TEIXEIRA, N. da S. **Grandes minas e comunidade: algumas questões conceituais**. Rio de Janeiro, CETEM/MCTI; 2007.

FERNANDES, F. R. C.; ARAÚJO, E. R. Mineração no Brasil: **crescimento econômico e conflitos ambientais**. In: Paulo Eduardo Guimarães; Juan Diego Pérez Cebada. (Org.). Conflitos Ambientais na Indústria Mineira e Metalúrgica: o passado e o presente. 1ed. Rio de Janeiro; Évora: Centro de Investigação em Ciência Política (CICP); Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/MCTI), v. 1, p. 65-88, 2016.

FEARNSIDE, P.M. **Estoque e estabilidade do carbono nos solos na Amazônia brasileira**. In: As terras pretas de índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Editora da Universidade Federal do Amazonas (EDUA) & Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, Amazonas, 2010.

FERREIRA, A.; VIEIRA, G.; JANSEN, J. **Metodologias de Análise e de Classificação das Paisagens: O exemplo do projeto Estrela**. Finisterra, XXVI, 72, 2001, pp. 157178.

FERREIRA, C. A. G. *et al*. Reabilitação de áreas mineradas de bauxita no Planalto de Poços de Caldas-MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – SINRAD: DO SUBSTRATO DO SOLO, 3., 1997, Ouro Preto, MG. **Anais**... Ouro Preto, MG: [s.n.], 1997. p. 27-35.

FINEGAN, B. **Pattern and process in neotropical secondary rain forests: the first 100 years of succession**. Trends in ecology & evolution, v. 11, n. 3, p. 119-124, 1996.

FONTES, M. P. F. **Estudo pedológico reduz impacto da mineração**. Revista da Cetesb de Tecnologia Ambiente, p. 58-61, 1991.

FOX, J. E. D. **Rehabilitation of mines land. Forestry abstracts**. Review article, England, v.45, n.9, p.565-600. 1994.

FRANK, B. **Apostilas da disciplina metodologia da pesquisa ambiental**. Blumenau: FURB, 1998.

GLEICK, J. **Caos**: a criação de uma nova ciência. 9. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1989.

GOMES, F. B. *et al*. Estudo da vulnerabilidade natural à erosão como subsídio para recuperação de áreas degradadas no entorno da Floresta Nacional do Jamari/RO. in: **XXV Congresso Brasileiro de Cartografia** - Curitiba - PR - Brasil, 21 a 24 de agosto de 2011.

GOTELLI, N. J.; COLWELL, R. K. **Quantifying biodiversity**: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. Ecology letters 4 (4): 379-391; 2001.

GRANT, C. D. **State- and- transition successional model for bauxite mining rehabilitation in the jarrah forest of Western Australia**. Restoration Ecology, v. 14, n. 1, p. 28-37, 2006.

GRIFFITH, J. J., DIAS, L. E., JUCKSCH, I. **Recuperação de áreas degradadas usando vegetação ativa**. Saneamento Ambiental, São Paulo, p 29-37, 1996.

GRIFFITH, J. J.; DIAS, L. E.; JUCKSCH, I. Novas estratégias ecológicas para a revegetação de áreas mineradas no Brasil. In**:** I SIMPÓSIO SUL-AMERICANO E II SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1994, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEP, 1994. p. 31-43.

GRIFFITH, J. J.; TOY, T. J. O estado da arte de recuperação de áreas mineradas no Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1., 1992, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR/FUPEF, 1992.

GUADAGNIN, J. C.; BERTOL, I.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29, p.277-286, 2005.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, Antonio J. T.; SILVA, Antonio S.; BOTELHO, Rosangela G. M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil: [s.n.], 1999. p. 17-55.

HOBSBAWM, E. J. **A Era dos Impérios 1875-1914**. Editora Paz e Terra, 9ª edição, São Paulo, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa geomorfológico do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 1995.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manuais Técnicos em Geociências nº4. **Manual Técnico de Pedologia** 2ª Ed. Rio de Janeiro 2007, 316. II.

INSTITUTO BRASILEIRO DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS E DO MEIO AMBIENTE. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Dos Recursos Naturais Renováveis, IBAMA, 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS E DO MEIO AMBIENTE. **Socioeconômica da população residente e do entorno**. In: Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari, v.1 (Diagnóstico). Brasília, IBAMA, 2005.

JAKOVAC, A.C.C.; JUNQUEIRA, A.B. **Levantamento da vegetação natural do entorno das áreas em recuperação na Floresta Nacional do Jamari**, RO. Relatório técnico, 60pp, 2010.

KAGEYAMA, P. Y. *et al*. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. 2003.

KAPPES, M. S.; PAPATHOMA-KOEHLE, M.; KEILER, M. **Assessing physical vulnerability for multi-hazards using an indicator-based methodology**. Applied Geography, v. 32, n. 2, p. 577-590, 2012.

KHATOUNIAN, C. A. O manejo da fertilidade em sistema de produção. In: INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Uso e manejo de solos de baixa aptidão agrícola. Londrina:** [s.n.], 1999. p. 179-221.

KOBIYAMA, M.; MINELA, J. P. G.; FABRIS, R. Áreas degradadas e sua recuperação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte: [s.n.], v. 3, n. 25, p. 10-17, maio/jun. 2001.

KOHLHEPP, G. **Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira**. Estud. av. [online]. v.16, n.45, p. 37-61. ISSN 0103-4014, 2002.

KÖPPEN W. **Climatologia:** con un estudio de los climas de la tierra. Ciudad de México: Fondo de Cultura Econômica; 1948; 479p.

LEGENDRE; LEGENDRE. **Numerical Ecology**. Elsevier, Amsterdam, 1998.

LIMA, F. A. O. Resenha de "Mais Borracha Para Vitória", de Adelaide Gonçalves e Pedro Costa. Fronteiras do Tempo: **Revista de Estudos Amazônicos**, v. 1, 2011, p. 159

LINS, F. A. de. F.; LOUREIRO, F. E. da. V. L.; ALBUQUERQUE, G. de A. S. C. Brasil 500 anos. **A construção do Brasil e da América Latina pela Mineração**. Rio de Janeiro, CETEM/MCTI; 2000.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. 3.ed. Porto Alegre. Bookman Editora. ISBN 978-85-65837-69-9, 2013.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. **Caracterização Física E Química De Áreas Mineradas Pela Extração De Cassiterita**. Bragantia, Campinas, v.64, n.1, p.101-107, 2005.

LONGO, R.M.; RIBEIRO, A.Í.; MELO, W.J. **Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase**. Bragantia, v.70, n.1, p.132-138. ISSN 0006-8705, 2011.

LORENS, Eduard N. **A essência do caos**. Brasília: Universidade de Brasília, 1996.

MARCELINO, E. V. **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos**. São José dos Campos: INPE, 2008.

MARTÍN-DUQUE, J. F.; GARCÍA, J. C.; URQUÍ, L. C. **Geoheritage information for geoconservation and geotourism through the categorization of landforms in a Karstic landscape. A case study from Covalagua and Las Tuerces (Palencia, Spain).** Geoheritage, v. 4, n. 1-2, p. 93-108, 2012.

MACIEL, J. **Elementos de teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1974. 404p.

MATURANA, H.; VARELA, F. **De máquinas e seres vivos: autopoiese:** a organização do vivo. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997. 138p

MELO, D.P.; da COSTA R.C.R.; NATALI FILHO, T.N. Geomorfologia. In: **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SC 20 Porto Velho, Rio de Janeiro, 1978. (Levantamento de Recursos Naturais, 16).

MESQUITA, R. C. G. *et al*. **Alternative successional pathways in the Amazon Basin**. Journal of Ecology, v. 89, n. 4, p. 528-537, 2001.

MERTEM, G. H. **Recuperação de solos através de práticas mecânicas e vegetativas**. Curitiba: UFPr-FPFP-APEF, 1994. v. 1. (Apostila do Curso de Recuperação de Áreas Degradadas).

MILARÉ, É. Direito do ambiental: doutrina, jurisprudência, glossário. 8. Ed. rev. Atual. e ampl. São Paulo: **Revista dos Tribunais**, 2013. 1614 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/ INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari – Rondônia.** Brasília - DF: MMA/IBAMA, 2005.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: Willey and Sons, 1974.

ODUM, E. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. 434p.

OLIVEIRA, C. V. **Micorrização, compactação e fósforo no crescimento de leguminosas arbóreas em solo degradad**o. Dissertação de mestrado. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1995. 54p.

OLIVEIRA, F. H. T de. **Gênese, morfologia e classificação dos solos para graduandos**. Curso de Agronomia do CCA/UFPB, 2007, 148 pg.

OTT, A. M. T. **Dos projetos de desenvolvimento ao desenvolvimento dos projetos: o Planafloro em Rondônia**. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina. 177 p. 2002.

PRIGOGINE, I.; GLANSDORFF, P. **Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations**. Nova York: Wiley, 1971/Petrópolis: Vozes, 1997.

PRIGOGINE, I.; STENGER, I. **Order out of chaos**. New York: Bantam, 1984.

QUEIROZ, S. M. P. **Recuperação de áreas degradadas: medida mitigadora de impacto ambiental**. Curitiba: UFPr-FPFP-APEF, 1994. v. 1.

RADAMBRASIL, Projeto. **Levantamento de recursos naturais.** Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Projeto Radambrasil, 1978.

RAIJ, B. VAN; ANDRADE, J. C. de; *et al*. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas, Brasil: Instituto Agronômico de Campinas (SP), 2001. 28p.

RUELLE, D. **Acaso e caos**. São Paulo: Unesp, 1993. p. 92-110.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. [S.I.]: Guanabara Koogan, 1996. 470 p.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdiciplinar**. Juiz de Fora - MG. Ed. do autor, 2000.

RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L.; PIROLI, E. L. **Utilização de sistema de informação geográfica na avaliação do uso da terra em Botucatu (SP)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, n. 3, p. 675-681, 2001.

RODRIGUES, A. F. S. **Estanho: Balanço Mineral Brasileiro**. Brasília, 2001

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. **Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, 2004. p. 235-247.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S.; NAVE, A. G. **Adequação ambiental de propriedades rurais e recuperação de áreas degradadas**. Piracicaba: ESALQ, 2005.

RODRIGUES, R. R.; ISERNHAGEM, I; BRANCALION, P. H. S. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. Piracicaba, Brasil. 2009.

RODRIGUES, M. A. **Direito ambiental esquematizado**. São Paulo: Saraiva, 2013. 108 p.

RONDÔNIA. **Zoneamento Sócio Econômico Ecológico do Estado de Rondônia**. Porto Velho, 2000.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa; 2010. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, v. 8.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. **Introdução ao geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica**. Universidade Federal de Uberlândia, 1996.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia. 1994; 8: 63-74.

ROSS, J. L. S. **Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities**. Revista do Departamento de Geografia, p. 38-51, 2012.

RUIZ- JAEN, M. C.; MITCHELL AIDE, T. **Restoration success: how is it being measured?**. Restoration Ecology, v. 13, n. 3, p. 569-577, 2005.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de textos, 495p. - 2006.

SÁNCHEZ, L. E. Planejamento para fechamento prematuro de minas. REM: **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 64, n. 1, p. 117-124, 2011.

SANTOS, A. J. **Pedra bonita as pedras que contam : aspectos socioeconômicos do ciclo da mineração de cassiterita no Vale do Jamari/sub-bacia do Rio Jacundá do fim da década de 50 à 90**. 2014. 114 f. Dissertação (Mestrado em História) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SANTOS, J. C. F; MARCHI, G; MARCHI, E. C. Cobertura do solo no controle de plantas daninhas do café. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 2008.

SILVA, V. C.; MACHADO, P. de S. **SIG na análise ambiental: suscetibilidade erosiva da bacia hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima - MG**. Revista de Geografia (UFPE), v. 31, n. 2, 2014.

SILVA, L. P.; MANIESI, V. **Avaliação dos limites de uso e ocupação da sub-bacia do rio Enganado-Rondônia, com auxílio de técnicas de geoprocessamento: uma proposta de uso sustentável**. Revista Geociências, UNESP, v.4, n.3, p.267-276, 2005.

SILVA, M. S. L.; RIBEIRO, M. R. **Influência do cultivo contínuo de cana-de-açúcar nas propriedades morfológicas e físicas de solos argilosos de tabuleiro no estado de Alagoas**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.16, n.3, p.397-402, 1992.

SILVA, A. B. **Sistema de Informação Geo-referenciados: conceitos e fundamentos**. Campinas – SP: Editora Unicamp, 1999.

SILVA, R. M. **Introdução ao Geoprocessamento: Conceitos, técnicas e aplicações**. Novo Hamburgo. Feevale. 2007.

SNIEE - Sindicato Nacional da Indústria da Extração do Estanho, 2009.

SOUZA, J. A. **Avaliação das estratégias de recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita em Poços de Caldas (MG).** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras. Lavras. 104p, 1997.

SOUZA, G. M.; BUCKERIDGE, M. S. Sistemas complexos: novas formas de ver a Botânica. **Revista Brasil Botânica**, [S.I.: s.n.], v. 27, n. 3, p. 407-419, jul./set. 2004.

SOUZA, M. *et al.* Small relief shape variations influence spatial variability of soil chemical attributes. **Sci. Agric. Piracicaba Braz.**, [S.I.: s..n.], v. 63, n. 2, p. 161-168, mar./apr. 2006.

SPÖRL, C. **Análise da fragilidade ambiental relevo-solo com aplicação de três modelos alternativos nas bacias do Rio Jaguari-Mirim, Ribeirão do Quartel e Ribeirão da Prata**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2001.

TER STEEGE, H., N. C. A. PITMAN, *et al*. **Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora.** Science 342. 2013.

TOMCZYK, A. M. **A GIS assessment and modelling of environmental sensitivity of recreational trails: The case of Gorce National Park, Poland**. Applied geography, v. 31, n. 1, p. 339-351, 2011.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE; 1977.

VIVAN, J. L. **Agricultura e florestas: princípios de uma interação vital**. Guaíba: Agropecuária, 1998. 207 p.

ZERZGHI, H. *et al*. **Long-term effects of land application of class B biosolids on the soil microbial populations, pathogens, and activity**. Journal of Environmental Quality, v. 39, n. 1, p. 402-408, 2010.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Listagem das espécies encontradas na área em recuperação.

N° de Espéices	**Nome Científico**	**Família**
1	*Acacia multipinnata* Ducke	Leguminosa-Mimosaceae
2	*Alchornea discolor* Klotzsch	Euphorbiaceae
3	*Alibertia myrciifolia* K. Schum.	Rubiaceae
4	*Alibertia sp.*	Rubiaceae
5	*Amaioua guianensis* Aubl.	Rubiaceae
6	*Annona amazonica* R.E.Fr.	Annonaceae
7	*Annona ambotay* Aubl.	Annonaceae
8	*Annona esxucca* DC	Annonaceae
9	*Annona neoinsignis* H. Rainer.	Annonaceae
10	*Annona sericea* Dunal	Annonaceae
11	*Annona sp2.*	Annonaceae
12	*Apeiba tibourbou* Aubl.	Malvaceae
13	*Astrocaryum aculeatum* G. Mey	Arecaceae (Palmae)
14	*Astronium lecointei* Ducke.	Anacardiaceae
15	*Bactri constanciae* Bar.Rodr.	Arecaceae (Palmae)
16	*Bauhinia forficata* Linck.	Leguminosa-Caesalpinaceae
17	*Bixa orellana* L.	Bixaceae
18	*Bowdichia virgilioides Kunth*	Leguminosa-Papilonoideae
19	*Byrsonima crispa* A.Juss.	Malpighiaceae
20	*Casearia pitumba* Sleumer	Flacourtiaceae
21	*Casearia sylvestris* Sw. Var. sylvestris	Flacourtiaceae
22	*Cassia fistula* L.	Leguminosa-Caesalpinaceae
23	*Castilla ulei Warb.*	Moraceae
24	*Clidemia rubra* (Aubl.) Mart.	Melastomataceae
25	*Clitoria racemosa* Benth.	Leguminosa-Papilonoideae
26	*Cordia alliodora* (Ruiz & Pav.)	Boraginaceae
27	*Cordia fallax* Johnston	Boraginaceae
28	*Cordia fallax* Johnston	Boraginaceae
29	*Cordia goeldiana* Huber.	Boraginaceae
30	*Cordia naidophylla* Johnston	Boraginaceae
31	*Cordia nodosa* Lam.	Boraginaceae
32	*Cordia sellowiana* Cham.	Baroginaceae

33	*Couratari stellata* A.C.Sm.	Lecythidaceae
34	*Dicranostyles sp.*	Convolvulaceae
35	*Dinizia excelsa* Ducke	Leguminosa-Mimosaceae
36	*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong	Leguminosa-Mimosaceae
37	*Enterolobium schomburgkii* (Benth.) Benth	Leguminosa-Mimosaceae
38	*Eriotheca pentaphylla* (Vell.) A. Robyns	Malvaceae
39	*Eugenia florida DC*	Myrtaceae
40	*Euterpe oleracea* Mart.	Arecaceae (Palmae)
41	*Guatteria foliosa* Benth.	Annonaceae
42	*Guatteria olivacea* R.E.Fr.	Annonaceae
43	*Handroanthus capitata* (Bureau & K.Schum.) Sandwith.	Bignoniaceae
44	*Handroanthus serratifolius* (Vahl) S. Grose	Bignoniaceae
45	*Helicostylis scabra* (Macbr.) C.C.Berg	Moraceae
46	*Helicostylis turbinata* C.C. Berg.	Moraceae
47	*Henriettella caudata* Gleason	Melastomataceae
48	*Hevea guianensis* Aubl.	Euphorbiaceae
49	*Himatanthus sucuuba* (Spruce ex Müll.Arg.) Woodson	Apocynaceae
50	*indeterminado*	Indeterminado
51	*Inga bicoloriflora* Benth.	Leguminosa-Mimosaceae
52	*Inga cayannensis* Sagot ex Benth.	Leguminosa-Mimosaceae
53	*Inga edulis* Mart.	Leguminosa-Mimosaceae
54	*Inga laurina* (Sw.) Willd.	Leguminosa-Mimosaceae
55	*Inga rubiginosa* (Rich.) DC.	Leguminosa-Mimosaceae
56	*Inga sp.*	Leguminosa-Mimosaceae
57	*Inga thibaudiana* DC	Leguminosa-Mimosaceae
58	*Isertia hypoleuca* Benth.	Rubiaceae
59	*Jacaranda copaia* (Aubl.) D. Don	Bignoniaceae

60	*Mangifera indica* L.	Anacardiaceae
61	*Mansoa alliacea* (Lam.) A.H.Gentry	Bignoniaceae
62	*Miconia cuspidata* (Mart.) Naudin	Melastomataceae
63	*Miconia dispar* Benth.	Melastomataceae
64	*Miconia minutiflora* DC	Melastomataceae
65	*Miconia piryfolia* Naudin	Melastomataceae
66	*Miconia poeppigii* Triana	Melastomataceae
67	*Miconia sp.*	Melastomataceae
68	*Miconia tetraspermaides* Wurdack	Melastomataceae
69	*Ochroma pyramidale* (Cav. ex Lam.) Urb.	Malvaceae
70	*Palicourea sp.*	Rubiaceae
71	*Parkia multijuga* Benth.	Leguminosa-Mimosaceae
72	*Picramnia juniniana* J.F.Macbr.	Picramniaceae
73	*Platypodium elegans* Vog.	Leguminosa-Papilonoideae
74	*Pourouma cecropiifolia* Mart. In Spix & Mart.	Urticaceae
75	*Pourouma tomentosa* Miq .ssp. Essequiboensis (Stand.) C.C. Berg & Heusden	Urticaceae
76	*Pourouma villosa* Trécul	Urticaceae
77	*Protium amazonicum* (Cuatrec.) Daly	Burseraceae
78	*Protium sagotianum* Marchand.	Burseraceae
79	*Protium subserratum* (Engl.) Engl	Burseraceae
80	*Psidium guineense* Sw.	Myrtaceae
81	*Schefflera morototoni* (Aubl.) Frodin	Araliaceae
82	*Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake	Leguminosa-Caesalpinaceae
83	*Senegalia polyphylla* (DC.) Britton Rose	Leguminosa-Mimosaceae
84	*Senna multijuga* (Rich.) H.S.Irwin & Barneby	Leguminosa-Caesalpinaceae
85	*Senna silvestris* (Vell.) H. S. Irwin & Barneby	Leguminosa-Caesalpinaceae
86	*Simaba polyphylla* (Cavalcante) W. Thomas	Simaroubaceae
87	*Sorocea guilleminiana* Gaudich.	Moraceae
88	*Stryphnodendron guianensis* (Aubl.) Benth.	Leguminosa-Mimosaceae

89	*Stryphnodendron pulcherrimum* Hochr.	Leguminosa-Mimosaceae
90	*Swartiza recurva* Poepp.in Poepp. & Enddl.	Leguminosa-Papilonoideae
91	*Swartiza sp.*	Leguminosa-Papilonoideae
92	*Tachigali melinonii* (Harms) Zarucchi & Herend.	Leguminosa-Caesalpinaceae
93	*Tapirira guianensis* Aubl.	Anacardiaceae
94	*Toulicia guianensis* Aubl.	Sapindaceae
95	*Trema micranta* (L.) Blume	Cannabaceae
96	*Vatairea guianensis* Aubl.	Leguminosa-Papilonoideae
97	*Vismia gracilis Hieron.*	Hypericaceae
98	*Vismia guianensis* (Aubl.) Choisy	Hypericaceae
99	*Vismia japurensis* (Aubl.) Choisy	Hypericaceae
100	*Xylopia calophylla* R.E.Fr.	Annonaceae
101	*Xylopia crinita* R.E.Fr	Annonaceae
102	*Xylopia polyantha R.E.Fr*	Annonaceae
103	*Zygia racemosa* (Ducke) Barneby & J.W.Grimes	Leguminosa-Mimosaceae