

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
BACHARELADO EM GEOGRAFIA

Análise da fragilidade ambiental, na bacia do Riacho Jucurutu/Raposa em
São João do Tigre-PB.

João Pessoa, Paraíba
Fevereiro de 2016

MARIÁ PIRES CUNHA GRACIANO ROMANO

Análise da fragilidade ambiental, na bacia do Riacho Jucurutu/Raposa em
São João do Tigre-PB.

Trabalho de Conclusão de curso
apresentado ao curso de Geografia a
Universidade Federal da Paraíba, como
requisito final a titulação de bacharela.

Orientador: Prof. Dr. Jonas Otaviano
Praça de Souza

Catálogo na publicação
Universidade Federal da Paraíba
Biblioteca Setorial do CCEN
Bibliotecária Josélia M. O. Silva – CRB15/113

R759a Romano, Mariá Pires Cunha Graciano.
Análise da fragilidade ambiental, na Bacia do Riacho Jucurutu/Raposa em São João do Tigre-PB / Mariá Pires Cunha Graciano Romano.– João Pessoa, PB, 2016.
70p. : il. color.

Monografia (Bacharelado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza.

1. Meio ambiente. 2. Ameaças ao meio ambiente. 3. Conservação.
4. Degradação. I. Título.

BS-CCEN
CDU 502/504(043.2)

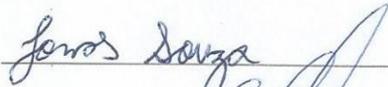
MARIÁ PIRES CUNHA GRACIANO ROMANO

**ANALISE DA FRAGILIDADE NA BACIA DO RIACHO JUCURUTU/RAPOSA
EM SAO JOAO DO TIGRE-PB**

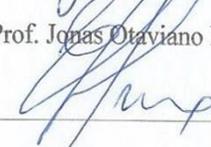
Esta Monografia foi julgada e aprovada para a obtenção do Título de Bacharel em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a sua conclusão.

João Pessoa 02 de março de 2016

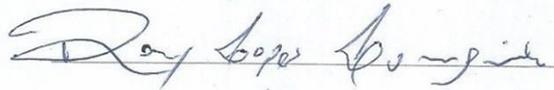
BANCA EXAMINADORA



Orientador: Prof. Jonas Otaviano Praça de Souza



Prof. Eduardo Rodrigues Viana de Lima



Prof. Rony Lopes Lunguinho

Dedico este trabalho a minha
família, e a Caleb(*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar

Agradeço a minha mãe, meu amor maior, a principal responsável por estar onde estou e ser quem eu sou, Muito Obrigada!

Agradeço a meu pai pelo amparo, e pelas palavras de confiança e carinho, que sempre me fizeram sentir segura. Muito Obrigada!

Agradeço a minha família, meus pais, meu irmão, minhas irmãs, que foram inspiradores e grandes pilares para minha evolução acadêmica, Muito Obrigada!

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza, pelos incontáveis momentos de paciência, e pelos ensinamentos valiosos compartilhados, Muito Obrigada!

Agradeço a minha turma geografia bacharelado 2012.1, por todos os momentos que passamos juntos, fizeram-me mais forte para ir até o fim nessa jornada. Em especial, Camilla Jerssica, Rachel Maia, e Camila Melo, Muito Obrigada!

Agradeço a meus queridos companheiros Maria Cecília e José Carlos, por terem compartilhado essa trajetória comigo, Muito Obrigada!

Agradeço ao Grupo de estudo em Ambientes Fluviais Semiáridos, pois todos contribuíram com uma palavra, um carinho, uma ajuda sempre que possível, Muito Obrigada!

Agradeço a Marcelo Costa de Menezes, por ter compartilhado comigo momentos bons e ruins nessa trajetória até aqui, pelo apoio nos diversos momentos

em que precisei de alguém que me dissesse que tudo estava bem, o que alcancei também devo a você, Muito Obrigada!

Agradeço a minhas amigas Aylin Meira, Lucille Patriota, Laura Fernandes, Deborah Wallach, Maressa Fauzia, e Caína Patriota pela trilha que seguimos juntas desde muito novinhas até os dias de hoje, todas em seus devidos caminhos, vocês me deram muita força, Muito Obrigada!

Agradeço a Francisco Vilar de Araújo Segundo Neto, pelas aulas de cartografia digital, que me renderam muito do que sei hoje sobre o assunto, Muito Obrigada!

Agradeço a todos os professores que tive desde minha infância até aqui, foram presenças definitivas para ser quem eu sou hoje, Muito Obrigada!

Agradeço aos meus professores do curso de geografia, foram imprescindíveis, Muito Obrigada!

Agradeço a todos que fizeram parte desse caminho e ajudaram a construir quem sou hoje, desde os que me criticaram aos que me elogiaram. Os lugares em que estive, as conversas que integrei, as pessoas que amei.

Por trás do que lembro,
ouvi de uma terra desertada,
vaziada, não vazia,
mais que seca, calcinada.
De onde tudo fugia,
onde só pedra é que ficava,
pedras e poucos homens
com raízes de pedra, ou de cabra.
Lá o céu perdia as nuvens,
derradeiras de suas aves;
as árvores, a sombra,
que nelas já não pousava.
Tudo o que não fugia,
gaviões, urubus, plantas bravas,
a terra devastada
ainda mais fundo devastava.

*João Cabral de Melo Neto, trecho de "O
rio"*

RESUMO

A análise ambiental á muito tempo faz parte de uma preocupação do homem para com o território. Em termos gerais, é a preocupação com a degradação ambiental o principal fator dessas análises, por que cada vez mais é perceptível o caminho sem volta traçado e marcado em busca de aproveitamento e ocupação. A análise da fragilidade ambiental é subsídio definitivo para que se possa entender como funciona a região estudada, quais são os pontos fracos, e quais são os pontos fortes, e aproveitar essas informações para o bem da relação homem e natureza, mutuamente. A conservação é sempre a forma mais eficiente de se regredir um estado de degradação, além de ações conservacionistas é necessário uma gestão e um planejamento adequado à área que a proteja das ações as quais ela está avessa. Dessa forma criando a base desse plano de manejo com uma boa análise de fragilidade, pode-se culminar uma boa gestão a partir do aprofundamento nas especificidades da área. Foi analisada a área de estudo (bacia do Riacho Jucurutu/Raposa) utilizando o método de Ross (1994) com algumas adaptações acerca da região e de suas especificidades como as características climáticas restritivas

Palavras Chaves: ambiental , conservação, degradação, fragilidade, manejo

ABSTRACT

The environmental analysis a long time part of a concern for the man with the territory. In general terms, it is the concern over the environmental degradation the main factor these analyzes, for that is increasingly perceived the path of no return route and marked in search of use and occupation. The analysis of the environmental fragility is definitive subsidy so that you can understand how the study area, what are the weaknesses and what are the strengths and take advantage of this information for the good of man and nature relationship mutually. Conservation is always the most skillful way to regrow a state of degradation, and conservation actions are needed management and proper planning area to protect the actions that can not be grown there. Thus creating the basis of this management plan with a good analysis of fragility, can culminate in a good management from deepening the specificities of the area. We have analyzed the study area (bacia do Riacho Jucurutu/Raposa) using the Ross method (1994) with some adaptations about the region and its specificities as restrictive climatic characteristics.

Keywords: environmental, conservation , degradation , weakness , management

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Escala de dureza de Mohs.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 2 Localização da área de estudo, Bacia do Riacho Jucurutu/Raposa	39
Figura 3 Mapa Geológico da bacia do riacho Jucurutu	45
Figura 4 Uso e Ocupação do Solo da Bacia do riacho Jucurutu	49
Figura 5 Caatinga antropizada, devido ações como pastoreio e retirada de vegetação.....	49
Figura 6: Caatinga arbustiva arbórea aberta e mancha de caatinga arbustiva arbórea fechada.	52
Figura 7: Mapa das Classes de Solos.....	54
Figura 8 Mancha de Luvisolo Crômico no município de São João Tigre.....	54
Figura 9: Climas da bacia do Riacho Jucurutu	58
Figura 10: Declividade da bacia do Riacho Jucurutu	61
Figura 10 Tabela de fragilidade da declividade da Bacia do Riacho Jucurutu/Raposa	61
Figura 12 Fragilidade Final da Bacia do Riacho Jucurutu/Raposa.....	63
Figura 12 Coleção dos mapas de fragilidades de cada elemento fisiográficos da área da bacia.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fragilidade das litologias	47
Tabela 2: Fragilidade das Unidades Geológicas	48
Tabela 3: Fragilidade para as classes de cobertura da terra.	52
Tabela 4: Fragilidade para as classes de solo	56
Tabela 5 Dados pluviométricos de São João do Tigre e Poção (PE) dos anos de 1999 a 2015	58
Tabela 6: Fragilidade para o clima	59

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
OBJETIVO GERAL	18
Objetivo específico	19
1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
1.1. Abordagem Sistêmica	21
1.2. Estabilidade e erosão de encostas (linear, laminar e movimento de massa)	26
1.3. Erosão e arranjo ambiental	Erro! Indicador não definido.
1.4. Modelos de Análise Ambiental	33
2. METODOLOGIA	38
2.1. Aspectos fisiográficos da área de estudo.....	38
2.2. Procedimento Metodológico.....	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
CONCLUSÃO.....	Erro! Indicador não definido.
REFERENCIAS.....	68

INTRODUÇÃO

A dinâmica da geomorfologia terrestre compreende inúmeros fatores. Ao tratar do tema, é preciso dar atenção especial para os processos de formação do solo e do modelado terrestre. A pedogênese, formação de solo, e a morfogênese, formação do relevo, são processos completamente dependentes dos diversos elementos ambientais que compõe os sistemas ambientais físicos, sendo os responsáveis pela gestão das dinâmicas formadoras das paisagens.

A partir daí se torna possível visualizar mais claramente os processos formadores da paisagem, e dos processos que assimilam o fator homem como desestabilizador de sua dinâmica.

A morfogênese e a pedogênese são dois processos responsáveis pela paisagem atual. De acordo com os elementos da paisagem, a morfogênese pode sobressair à pedogênese, ou vice-versa, o que ocorre é que os aspectos naturais são os grande controladores de cada um desses eventos.

A morfogênese compreende aos aspectos que desenvolvem e participam do desenvolvimento do relevo, como a chuva, o vento, a litologia e química do solo atuando em conjunto. O clima é agente essencial para o desenvolvimento tanto da morfogênese quanto da pedogênese, é atuante direto sendo responsável pela modelagem da superfície. A pedogênese compreende aos processos que acarretam o desenvolvimento do solo, e que estão ligados a elementos que corroboram esses processos, por exemplo a presença de um neossolo regolítico sem cobertura vegetal, apresenta baixa atividade pedogenética, já que é uma característica que limita diversos processos pedogenéticos como decomposição da rocha e o desenvolvimento do solo e dos seus fatores formadores.

Os elementos terrestres que compõem a geomorfologia como clima, cobertura vegetal, biótipo, composição litológica, e do solo oferecem caráter suficiente a análise e aos estudos desses dois processos, e quais são as situações

que os mesmos processos desencadeiam. É importante trabalhar essas análises inter-relacionando escalas temporais e espaciais.

A classificação morfoestrutural sobre os meios estáveis, intergrades e instáveis (TRICART, 1977) esclarece de que forma esses processos podem derivar em momentos de instabilidade.

Os meios estáveis são relacionados a ambientes que possuem boa cobertura vegetal, que funcione como proteção e fonte de matéria orgânica e para a evolução do solo, nestes casos o relevo se desenvolve de forma lenta e estável, o que influi para a ênfase de atividades pedogenéticas.

Os meios intergrades são a representação das áreas de transição entre uma categoria e outra, simbolizam a área que apresenta atividades pedogenéticas e morfogenéticas. Quando uma ação supera a outra a partir de processos que se sobressaíram, por exemplo a modificação da cobertura vegetal a partir de uma mudança abrupta de clima, a dinâmica morfogenética transforma rapidamente a paisagem em uma área de relevo acentuada, são áreas sensíveis a pequenas mudanças. Quando não há instabilidade, a pedogênese sobressai a morfogênese. Os meios que são caracterizados por instabilidade são predominantes das dinâmicas de atividades morfogenéticas, onde os processos ocorrem mais rapidamente, corroborados por ambientes com pouco proteção superficial e que seja ausente de fornecedor de detritos, o que ocorre é a movimentação mecânica de forma intensa. Então o que vemos a pedogênese é majoritária em ambientes estáveis, enquanto a ênfase da morfogênese é em ambientes instáveis. São processos e dinâmicas que necessitam ser estudadas, pois só assim é possível avaliar as atividades que possam gerar degradação (FERREIRA,2010).

Tais dinâmicas podem ser alteradas por alguns fatores, um deles é a presença de atividade antrópica. A intervenção humana é um dos mais intensos modificadores da dinâmica natural. A construção civil altera os fluxos de energias e massa, a retirada de recursos altera a composição e estrutura dos sistemas como ao construir uma barragem, evento que transforma completamente a dinâmica

morfológica de um rio e de seu entorno, o desmatamento inconsequente de uma área muda o rumo com o qual o habitual desenvolvimento natural estava traçado, todos os eventos e atividades que são praticados após esses impactos se tornam demasiado instáveis e inseguros.

Pensando nisto, a relação natureza e sociedade é pesquisada enfaticamente e persistentemente haja vista o homem depende dessa relação para continuar a usufruir das atuais condições e bens materiais que são de sua situação. Dessa forma os estudos ambientais tiveram espaço para difundir-se tornando algumas informações pertinentes a partir dos anos 60, como a necessidade da preocupação com os recursos não renováveis, e a pretensão do desenvolvimento de pesquisas acerca dos recursos renováveis, incentivando a sua utilização. Tornou-se acessível então entender que a gestão ambiental e a racionalização de alguns recursos, são essenciais para a preservação, assim como um bom planejamento.

Planejar de que forma pode-se extrair sem provocar impactos relevantes, gerir os meios de cultivo agrícola e pecuarista para evitar a degeneração do solo e do relevo, planejar o uso do solo e qual uso em cada solo assim como a adequada ocupação desse solo. Os impactos negativos gerados a partir de uma má gestão são sempre problemáticos para as sociedades, a poluição da atmosfera, o envenenamento da terra, a degeneração do solo, são fatais as comunidades em larga escala temporal. No entanto, a terra é um sistema ambiental físico, e se comporta tal qual, desse modo, caminha para um perfil de equilíbrio o qual possa mantê-la em estágio harmonioso de todos seus elementos.

O que traz ao homem condições de se proteger diante dos riscos provocados pelo desenrolar das dinâmicas naturais é traçar um modelo que mostre as possíveis formas dos sistemas reagirem a determinada ordem e postular as possibilidades de modificação. Em busca de um melhor entendimento dessa questão começam a ser desenvolvidos modelos espaciais de “probabilidade de dano ambiental”, ou seja, modelos que visam identificar e mapear a possibilidade de algum tipo de impacto como erosão de solos e deslizamentos. Podem ser

pensados como modelos de zoneamento que preveem a otimização e o uso sustentável do meio de acordo com as necessidades humanas, compromisso dos planos de manejo pautados na vulnerabilidade, susceptibilidade, sensibilidade do ambiente. São todos eles planos pautados em reconhecer as fraquezas e enaltecer as potencialidades de acordo com seus diferentes táxons (SCHIRMER e ROBAINA, 2012). As diferenças desses conceitos residem na forma como eles encaram a perspectiva ambiental, por exemplo o plano de manejo que se baseia na vulnerabilidade, está baseado nas fragilidades de um ambiente ao sofrer impacto antrópico (TAGLIANI, 2003). A susceptibilidade está sempre correlacionada com a estabilidade do sistema ambiental, tanto que ao trabalhar com o conceito é possível perceber a insistência dos trabalhos voltados a temática dos movimentos de massas, enchentes ou até mesmo desertificação. Por isso a suscetibilidade é utilizada para pleitear algum evento negativo ambiental que está no limite do extravasamento de pressão, são planos de manejo urgentes e que possuem caráter emergencial.

A fragilidade ambiental denota diversas conceituações, e todas elas detalham a relação dos impactos antrópicos com as limitações ambientais. Corresponde a leitura dos pontos vulneráveis do ambiente, e dos pontos considerados potenciais (SPÖRL,2007). Autores como Ross, desenvolveram muitos dos modelos hoje utilizados para mensurar os valores de fragilidade, a partir do conjunto de informações como vegetação, uso e ocupação do solo, drenagem, geomorfologia, pedologia e clima. Para um melhor desenvolvimento do estudo sobre fragilidade é preciso avançar em algumas etapas, uma delas é responsabilizar o geógrafo por esse papel intransferível de análise holística necessária para a parametrização correta das variáveis, aliar os estudos de sensoriamento remoto e geoprocessamento de forma mais eficaz ao conteúdo de estudo, entre outros aperfeiçoamentos.

Mesmo a partir de todo embasamento teórico recolhido, algumas dificuldades foram aparecendo de acordo com o levantamento das informações geradas. Muitas vezes eram informações que não coincidiam, ou não forneciam

respaldo suficiente para estabelecer valores de fragilidade, ou mesmo para elaborar uma explicação decorrente dessa forma foi necessário desenvolver de forma mais densa as pesquisas acerca dos elementos e desenvolver também valores de fragilidade adequados com as informações obtidas. Desse modo, boa parte dessa pesquisa focou em uma parametrização adequada dos elementos ambientais característicos dos ambientes secos do Nordeste brasileiro.

A área de estudo deste trabalho compreende uma porção semiárida denominada cariri ocidental. Essa região não apresenta comportamentos como rastejamento de solo, e poucos são os casos de erosão por processos químicos, por outro lado o intemperismo físico ou mecânico é presente assinalando as chuvas mal distribuídas, além de, é claro, sofrer com a dilatação e contração das rochas ocasionada pela alta amplitude térmica da área. É a chuva rápida e intensa que desestabiliza a dinâmica equilibrada da realidade semiárida, e é após essas chuvas que o escoamento laminar atua no preenchimento das irregularidades presentes na encosta dando forma a um desenho muito comum da região, o pedimento. Devido a essas características e comportamento que a adaptação da metodologia de fragilidade ambiental foi necessária, pois as aplicações do procedimento normalmente focavam em ambientes úmidos que corriqueiramente apresentavam os mesmos elementos decisivos para a fragilidade. No caso da bacia do riacho Jucurutu, os parâmetros dos elementos foram gerados a partir de pesquisa e análises comparada/dedutiva, adaptando a metodologia de Ross (1994), ao ambiente seco nordestino, já que foi identificada uma certa lacuna quanto aos trabalhos de fragilidade que possuíssem dados completos e material denso acerca do tema, e que pudessem fornecer aparato para uma pesquisa.

OBJETIVO GERAL

Analisar a fragilidade ambiental da bacia do riacho Jucurutu/Raposa em São João do Tigre, Cariri Paraibano, tendo como ênfase uma parametrização detalhada dos níveis de fragilidade dos elementos/características ambientais semiáridos.

Objetivos específicos

- Identificar e mapear as características/elementos ambientais da bacia hidrográfica do Riacho Jucurutu (solo, uso/cobertura, geologia, clima e relevo);
- Parametrizar os valores de fragilidade de forma adequada às características específicas da bacia;
- Calcular a fragilidade ambiental da bacia analisada, com e sem ênfase no relevo;
- Analisar a distribuição da fragilidade e quais elementos são controladores da mesma.

1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Sobre a fragilidade ambiental, é determinante que se tenha conhecimento de uma abordagem epistemológica integrativa, desse modo será trabalhado a corrente de pensamento que permeia os estudos metodológicos deste trabalho. Compreendendo melhor como funciona a forma de pensar sistêmica, torna-se possível compreender também as pesquisas e metodologias que se baseiam nesse formato. Tricart (1997) salienta que o sistema é o melhor instrumento lógico para estudar os problemas ambientais. A geografia adotou esse pensamento por que sentiu a necessidade de algo que ultrapassasse a teoria, e fosse possível de se utilizar na prática, o que Christofolletti desenvolveu ao falar sobre os sistemas ambientais físicos em 1999.

Neste trabalho a ênfase da análise são os sistemas de encosta, por isso foi necessário avaliar os processos relacionados a essa escala, e tratar de quais são os fatores essenciais a sua dinâmica. Desse modo, serão feitas considerações sobre as erosões recorrentes no sistema encosta, como o fluxo linear, por exemplo, por que são processos que se encaixam na própria formação e desenvolvimento do sistema normalmente, sem a perspectiva unicamente de impacto, mas como um dos fatores modeladores de paisagem.

Como é necessário entender a dinâmica dos processos erosivos dos sistemas de encosta, também é necessário detalhar como os elementos da paisagem física interagem entre si, para controlar e/ou influenciar esses mesmos processos erosivos. Dessa forma tentou-se entender as vulnerabilidades gerais dos elementos presentes no sistema encosta. No quesito solo, quais seriam os mais propensos a se desagregar, ou a decantar na presença de água. É preciso obter informações sobre o uso desse solo também, ele está protegido por vegetação? Ou é utilizado para pasto? São duas situações extremas que resultam em reações completamente diferentes, são fatores que desencadeiam determinados processos, lentos ou rápidos.

São todas estas, temáticas que configuraram o interesse de planejar, medir,

gerir, controlar o manejo e principalmente prever os impactos das ações humanas sobre o solo e os sistemas que tocam essas ações. Com intenção de zonestar e definir as situações das regiões na superfície, é importante entender as possibilidades de análise ambiental, tal como os estudos acerca da fragilidade, vulnerabilidade, susceptibilidade, sensibilidade, entre outros. Finalizando no detalhamento dos estudos de fragilidade ambiental, foco do presente trabalho.

1.1. Abordagem Sistêmica

A abordagem sistêmica corresponde ao final do século dezenove, quando Dokoutchaev nomeou de ciência da paisagem todos os atributos pertencentes ao ambiente natural e suas inter-relações (VICENTE E PEREZ FILHO,2003). Para entender essa abordagem é preciso entender os sistemas como um todo organizado e não de elementos ou partes. A desenvolver-se de forma mais expressiva no século vinte, a teoria sistêmica trouxe uma visão ampla onde o entendimento da paisagem acontece sem que seja necessário isolar os eventos simultâneos uns dos outros para compreendê-los separadamente.

Dessa perspectiva de agrupamento se enraizará a ideia de aninhamento hierárquico, explicando a simultaneidade com que os sistemas e subsistemas acontecem e desenvolvem seus respectivos processos. Um exemplo clássico que é referência as escalas espaço-temporais de um sistema é a bacia hidrográfica que contém as bacias de menor ordem constituindo uma bacia de maior ordem. A estabilidade desses sistemas varia de acordo com a escala em que esse sistema se encontra, por exemplo um evento que traga instabilidade a um trecho de rio, mas que não provoca alterações nos outros trechos da bacia de menor ordem por estas apresentarem núcleos de resistência quando subsistemas conservam sua estabilidade a despeito de sistemas maiores em que participam (MATTOS e PEREZ FILHO,2004). Isto traz à tona duas características provenientes de sistemas complexos como os que pertencem a aninhamentos hierárquicos: a retroalimentação e a não linearidade (AMORIM,2012).

Essas duas características de um sistema compreendem respectivamente ao acúmulo de entropia findando no reestabelecimento ou não desse sistema. Por exemplo as chuvas no semiárido, caracterizadas por longos períodos de estiagem que culminam em chuvas intensas concentradas em determinada área, os solos dessa área são poucos desenvolvidos e não são capazes de absorver toda a água precipitada. Desse modo, é possível que esse sistema exprima respostas e reaja a essa condição provocando uma saturação do solo e fazendo com que o solo inicie um processo de escoamento superficial e erosão; gerando no caso de áreas com vegetação previamente degradada um processo de retroalimentação positiva em que o sistema busca um novo perfil de equilíbrio. Em outro cenário, caso a vegetação esteja conservada será considerada uma retroalimentação negativa, onde os distúrbios gerados pela chuva permanecem próximos dos limiares de mudança e apesar de gerar respostas conseguem ser absorvidos pelo sistema.

Já a não linearidade compreende a capacidade de fluxo multidirecional de energia em um sistema, onde os elementos se organizam de forma hierárquica a a direção de equilíbrio. Como, por exemplo, o ciclo hidrológico, quando a chuva precipita e pode infiltrar, evaporar ou escoar a água, e ao escoar ela pode evaporar ou ser absorvida por alguma planta, e caso não seja absorvida pode infiltrar ou escoar diretamente para um leito de rio e assim sucessivamente a água traça suas rotas de energia multidirecional. Os sistemas são um todo organizado de forma não linear, e, portanto, de energia e matéria multidirecional, conclui-se que estes indispensavelmente devem ser analisados de forma holística, sem o isolamento de suas partes. A não linearidade e retroalimentação são características que não se destacariam se os elementos pertencentes as estruturas do sistema fossem analisadas de forma separada, é o que chamamos de propriedades emergentes as quais dão origem a máxima, O todo é maior que a soma das partes. (MATTOS e PEREZ FILHO,2004).

O padrão de organização do sistema é o que dará a este a sua identidade, e a manutenção desta identidade é o que Mattos e Perez Filho (2004) chamam de estabilidade; a capacidade do sistema de manter suas características fundamentais.

Presente em todos os sistemas, a estabilidade é condição que individualiza um sistema perante os outros, é a responsável pelo padrão organizacional do sistema, a capacidade de o sistema conservar ou não suas especificidades. Sabendo disso, pode-se completar o diagnóstico do termo, entendendo que o conceito está diretamente ligado a ideia de dinamicidade, de um sistema que possui fluxo constante de energia, e que logo, não entra em estado estático, e sim de equilíbrio dinâmico.

O equilíbrio dinâmico está relacionado a ideia de o ambiente possuir sua individualidade e sua estabilidade, no entanto, este sistema possui pontos frágeis que podem fazer com que sua estabilidade seja alterada, e este sistema precise restabelecer um equilíbrio, um perfil de equilíbrio, tornando-o harmonioso com todos seus elementos novamente, após determinada alteração. Dessa forma, a dinâmica do sistema ambiental físico consiste em desenvolver equilíbrio sempre que algum impacto gere uma nova mudança, variando de acordo com a resiliência, a capacidade de o sistema voltar ao estado de equilíbrio, sendo esta resiliência alta o equilíbrio dinâmico sempre será o mesmo.

Desse modo, pode-se entender a resiliência como uma característica estreitamente relacionada a condição de estabilidade, pois se trata da capacidade que o sistema possui de voltar ao estado anterior a perturbação. Logo, dependendo do grau de estabilidade desse sistema, ele voltará ou não ao estágio em que estava antes de sofrer essa alteração. Sistemas estáveis normalmente são flexíveis, e mantem uma estrutura física e de fluxo durante muito tempo sem alterações consistentes. Um exemplo são também as bacias hidrográficas, sistemas abertos que possuem seu input na precipitação e seu output na perda de água e sedimentos (COELHO NETTO, 2003), e só alteram a sua estrutura com um acúmulo de entropia alto em seu input. A maioria dos sistemas mantem-se estáveis ao longo do tempo, pois quando seus fluxos de energia permanecem estabilizados não há modificações consistentes em sua estrutura, e se essas condições são recorrentes esse sistema está em estado de equilíbrio constante.

O conjunto de atributos que pertencem a um determinado sistema, variam

de acordo com sua estrutura, podendo ser sistemas fechados, abertos, isolados e não isolados. Para este trabalho é importante entender que os sistemas abertos possuem fluxos de energia e estes são vulneráveis a diversas variantes. As reações do sistema funcionam de acordo com a entrada e saída de energia, que acontecem de forma dinâmica e variam ao longo do tempo, essa variação é característica do sistema aberto. Todos os sistemas ligados ao ambiente natural se apresentam como sistemas abertos, pois possuem essencialmente o princípio de expansionismo proveniente da teoria sistêmica, que consiste na sustentação de um fenômeno a partir de outro fenômeno maior (CHIAVENATO, 2004), como a evaporação e transpiração do vapor da água dependem da radiação solar, e a precipitação depende da evaporação da água. Dentro de um sistema dessa natureza, cada elemento desempenha um papel ligado a um devido fim/finalidade, pois cada sistema desempenha uma função que constitui seu objetivo no intercâmbio dentro e fora dos demais sistemas.

Baseado nessas considerações entende-se que a geografia tem como foco principal a organização espacial, a partir daí pode-se direcionar seus estudos de acordo com os fenômenos analisados e distinguir as vertentes geográficas de acordo com estes fenômenos, de um lado a geografia humana sistematizando estudos que tangem a política, economia, antropologia, história e de outro a geografia física com os estudos acerca de ecologia, geomorfologia, geologia, entre outros.

A geografia física, se preocupa com a organização dos sistemas ambientais físicos também denominados geossistemas (CHRISTOFOLETTI, 1999), que representam justamente a interação entre os elementos físicos da natureza. Essa interação funciona de forma complexa e hierárquica como nos outros sistemas, mas apresenta fluxos de energia e matéria específicos.

Estes foram os primeiros passos para o desenvolvimento do conceito de Geossistema. Dessa forma Sotchava na década de 1960 dá sequência aos estudos de Dokuchaev e utiliza a teoria geral dos sistemas de Bertalanffy incorporando-a ao termo desenvolvido por ele, Geossistemas. Para Sotchava, a principal concepção

de geossistemas era a conexão que se estabelece entre o ambiente natural e a sociedade. As relações entre esses dois elementos geram diferentes reações e relações e são essas as que Sotchava escolheu ressaltar ao desenvolver o conceito.

Bertrand em 1972 conceitua geossistema de maneira mais técnica ao elaborar diretrizes taxonômicas de hierarquização da paisagem utilizando conceito de zona, domínio, região, geossistemas, geótopo e geofácia. Cada um dos itens de grandeza, assim hierarquizado por Tricart (1965) corresponde a um nível da paisagem, contudo por não ser o foco do estudo não é necessário um aprofundamento sobre as variações metodológicas.

Sotchava e Bertrand procuraram associar ao conceito de geossistema, escalas que pudessem hierarquizar a paisagem. O aninhamento hierárquico também corresponde a esse tipo de organização escalar, mas em patamares diferentes. Desde o sistema globo até o lugar. Cada uma dessas escalas convém mensurar seus fluxos, matéria e estrutura. Tricart ao escrever seu livro *Ecodinâmica* em 1977 influenciou a abordagem sistêmica da geografia física, desenvolveu a ideia da natureza dinâmica, e dos estudos que devem ler esse tipo de análise. Tricart alega que a organização espacial é dinâmica, e as ordens se reorganizam de forma rápida a partir das mudanças de direção dos fluxos naturais. Ainda é possível perceber a importância que Tricart enfatiza entre as relações dos sistemas uns para os outros ao falar sobre a vegetação sobre uma encosta, os microrganismos que se desenvolvem no solo, o pasto entre outros exemplos que esclarecem a dependência de um elemento do sistema de maior escala para o de menor. O livro versa sobre como os diversos elementos da natureza estão ligados e funcionam como engrenagens da natureza, haja vista o exemplo das dunas, e de como o comportamento da reprodução vegetal é limitado de acordo com a natureza das dunas.

Outro grande incentivador do conceito de geossistemas na geografia física é Antônio Christofletti que em 1999 publicou o livro *Modelagem de Sistemas Ambientais*, onde consolida a ideia explicando passo a passo a aplicação dos

estudos sistêmicos na análise de um geossistema, ou sistema ambiental físico, como utilizar a dinâmica dos modelos ambientais, e de que forma se constrói um modelo de sistema ambiental. No mesmo livro Christofolletti mostra os diferentes tipos de sistemas, aqueles que são considerados controlados, não controlados, sistemas simples ou complexos no objetivo de introduzir mais densamente o sistema no mundo da geografia. De forma geral o presente trabalho irá utilizar o termo sistema ambiental físico, que não direciona para uma metodologia específica de classificação de paisagens, como os geossistemas, e sim aponta a abordagem epistemológica dos sistemas dinâmicos; podendo, a depender do pesquisador, ser igualado à ideia de geossistema.

1.2. Estabilidade e erosão de encostas (linear, laminar e movimento de massa)

As encostas são elementos da paisagem que resultam de diversos fatores formadores, todos estes fatores são inter-relacionados e dependentes uns dos outros, de forma geral a formação básica de uma encosta é resultado da ação da água, do transporte das partículas do solo pela água e da utilização desse solo. Os fatores que regem o sistema 'encosta' são vários: gravidade, clima, litologia, uso e ocupação do solo, declividade, compactação. Eles atuam como elementos de manutenção do sistema encosta, responsáveis pelo movimento de energia e pelos fluxos de materiais. A gravidade atua junto à água e transporta os sedimentos, assim como a água atua como input de energia e movimenta o sistema desenvolvendo o processo de equilíbrio. Gomes (2001) ao organizar os agentes erosivos de forma a melhor compreender os processos atuantes, separou-os em agentes ativos, que são agentes diretos e passivos, que atuam para a erosão indiretamente. Pode se considerar como principais agentes ativos a água e a ação antrópica, e como principais agentes passivos a topografia, o tipo de solo e a cobertura vegetal. Haja vista a importância desses elementos para a dinâmica da encosta, é possível partir para a compreensão do processo de relação entre esses elementos e a estrutura da encosta em si.

A água tem seu papel fundamental nesse ciclo por ser a energia do sistema encosta, é ela que dará a estrutura desse sistema o caráter dinâmico, e acarretará os processos que são típicos desse arranjo, levando a para um processo erosivo. O que acontece é que imediatamente ao colidir com o solo, as gotas de chuvas desagregam partículas com seu peso iniciando o processo de transporte, pois ajudam a romper a inércia das partículas, quebrando-as e transportando-as de imediato para outro ponto do solo. Dependendo da quantidade de energia descarregada ali pela chuva, as partículas vão se fechando e o solo vai sendo selado, formando uma delgada crosta na superfície, o que dificulta um pouco o processo de infiltração, mas que não o impede. Essa é a primeira etapa de uma sequência erosiva, chamada de erosão por salpicamento (*splash*). O salpicamento apresenta maior intensidade em solos com nenhuma ou pouca cobertura vegetal (D'ODORICO,2012).

A vegetação aumenta a qualidade e a umidade do solo e dos nutrientes disponíveis, através da prevenção de crostas, aumentando as taxas de infiltração e aumentando as atividades biológicas. Sua remoção, em conjunto com a compactação do solo, a partir do pisoteio e do efeito *splash* da chuva, em solo nu ou com pouca vegetação, aumenta o escoamento superficial, a perda de nutrientes e a redistribuição do solo, ou seja, a erosão do solo por vento e água (D'ODORICO,2012).

No fluxo Hortoniano, ou escoamento superficial, mais comum em ambiente semiárido, o agente erosivo água infiltra até atingir a saturação e partir para a dispersão de seu fluxo. De imediato não acontece transporte por cisalhamento, mas ao aumentar a quantidade de água a velocidade do fluxo também aumentará, e assim o transporte por cisalhamento ocorre, podendo dar origem ao processo de erosão (GUERRA, 2012).

Quando ocorre a dispersão de material plástico resultado da união de partículas da encosta com a água provocando transporte dessas partículas, pode-se denominar a situação como início de uma erosão em lençol, ou erosão laminar (*sheetflow*). À medida que o fluxo aumenta e desce encosta abaixo, o poder de

erosão do material coluvial vai se tornando maior, e então a concentração desse fluxo vai aumentando, e ocupando os micros espaços que desenham os pontos depressivos da encosta (GUERRA,2012). Esse estágio ainda apresenta baixo risco e pode ser revertido caso haja diagnóstico de erosão. Não havendo, o processo segue desencadeando fluxos mais concentrados. Dentre os eventos de erosão em encosta, este é um dos mais presentes no processo de desenvolvimento das encostas do semiárido. Um dos responsáveis pela formação dos pedimentos, formações comuns, tendo em vista o processo de desenvolvimento das encostas (GUERRA; JORGE, 2014)

Ao se encontrarem mais concentrados, os fluxos diminuem de velocidade e aumentam em profundidade, desenhando estreitas marcas no relevo transportando partículas de sedimento e depositando-as, num ciclo que acontece de acordo com o fluxo que segue encosta abaixo. Esse é um estágio seguinte ao de escoamento laminar, chama-se escoamento linear que gera a erosão linear, ou erosão em sulcos. Esses sulcos, gerados pelo transporte-deposição de sedimentos, são o que Guerra (2012) chama de futuros embriões das ravinas.

O estágio seguinte ao escoamento linear é causado pelo leve entalhamento dos sulcos causados pelos fluxos de água. A turbulência da água se torna maior e é possível encontrar o espaço para as ravinas em formação já presentes. Daí para que se desenvolvam as voçorocas é necessário apenas que aumente o nível de água escoada e um maior entalhamento dessa feição. O Instituto Paulista de Tecnologia difere as ravinas das voçorocas a partir do fato de que a ravina seria um canal criado pelo escoamento superficial, e as voçorocas canais desenvolvidos a partir do afloramento do lençol freático (GUERRA, 2012). As voçorocas possuem um comportamento mais acelerado de erosão e provocam grandes estragos, e para evita-los esse tipo de erosão é necessária uma gestão rigorosa.

Os escoamentos que ocorrem nas encostas podem variar de acordo com os fatores itinerantes ao processo de erosão, temperatura, gravidade, tempo, tipo de solo, uso desse solo, umidade. Por exemplo em uma área semiárida, é provável que ocorra em um período de chuvas concentradas (evento comum ao semiárido),

quando em pouco tempo chove o esperado para um mês, um fluxo Hortoniano, dessa forma por ser um solo de área degradada, com pouca declividade, é possível perceber quais os fatores serão efetivos para o desenvolvimento desse escoamento e, por conseguinte, agravamento de uma erosão laminar.

O movimento de massa é o processo de deslocamento de uma porção do material estrutural de uma encosta, ocasionando a deposição desse material à jusante. Em todos os casos de movimento de massa, a gravidade é a maior causadora do evento. Há uma quantidade de material desagregado e qualquer agente de intemperismo pode deslocá-lo, água, vento, gelo, ou atividades biológicas. Penteado (1980) afirma, que genericamente, o termo movimento de massa tem sido usado para todos os movimentos gravitacionais.

São muitos os fatores, processos e materiais os quais condicionam o acontecimento dos movimentos de massa, e determinam o tipo de cada movimento. Por exemplo, o rastejamento, compreende o processo de lento deslocamento de uma massa que sofreu com a gravidade, e rompeu o sustento da sua estrutura pela soma dos fatores de gravidade e variação de temperatura (e umidade). Há também movimentos que são mais rápidos, como as corridas ou fluxos, quando o material se comporta como um grande fluido, com consistência viscosa. Esse fluido ocorre pela grande concentração de água no material da encosta, e acarreta o rápido movimento dessas partículas em união à água. Além desse tipo de fluxo, o de detritos também ocorre nesse cenário, onde o material desfragmenta com facilidade devido a presença de neossolo regolítico, e a amplitude térmica é determinante também para o desenvolvimento das atividades erosivas resultantes das intempéries mecânicas, sendo razoavelmente comuns em ambientes secos.

Além das corridas de lama, está o escorregamento. Movimento de curta duração que é passível de distinção através do plano de ruptura, podendo ser rotacional (superfície de ruptura curva) e escorregamento translacional (superfície de ruptura plana). Por possuir o plano de ruptura bem destacado, é possível fazer observações sobre o material que foi deslizado e qual forma esse processo desenvolveu na encosta. No Brasil, esse tipo de movimento é comum, justamente

por suas características climáticas e geomorfológicas (grandes maciços montanhosos) em áreas úmidas, além do agravante principal, a ação antrópica no corte para construção de estradas, moradias, pedreiras (GUERRA,2000).

Parsons (1998) frisa um fato importante acerca dos movimentos de massa. A maioria das encostas evolui de diversas formas, e o movimento de massa esporádico tem sua razoável importância para o desenvolvimento da forma da encosta. É dessa forma que Petley em 1984 deixa claro que é necessário entender o desenvolvimento e os processos que envolveu as encostas e suas feições, compreendendo esses processos, podemos entender como agir em determinadas situações, podendo se tomar melhores atitudes ao recuperar, tornar estável, ou analisar os tipos de movimentos de massa.

1.3. Complexidade do sistema ambiental

São muitos os fatores ambientais que influenciam direta ou indiretamente as possibilidades de erosão no solo das encostas. Todos os processos naturais dependem do grau de tendência desse sistema a determinado processo, isso por que os processos erosivos se desenvolvem mais facilmente em terrenos de baixa resistência e/ou em situações mais “vulneráveis” para que ocorram. Mas o ponto de partida dos processos ocorre, majoritariamente, para o semiárido nordestino, com a precipitação. Como exemplo, pode-se pensar um ambiente semiárido, solo pouco desenvolvido, cobertura de solo degradada e ocupação humana sem planejamento adequado, ao entrar em estado de acúmulo de entropia todos estes fatores contam para que o sistema se desestabilize rapidamente, e a água, energia responsável pelo desequilíbrio do sistema apresenta maior probabilidade de gerar modificações superficiais. Ou seja, é necessário avaliar os diversos elementos ambientais e suas inter-relações para compreender adequadamente o sistema erosivo. Desse modo, tornou-se necessário para este trabalho um maior detalhamento de como esses elementos influenciam direta e indiretamente os processos erosivos.

A composição geológica é um fator que deve constar como imprescindível

a consideração do desenvolvimento do solo e conseqüentemente ao arranjo ambiental, pois é a geologia que vai ceder material para o solo, a partir do momento em que essas rochas se decompõem e se desfragmentam, cedem material para a formação dos solos (LEPSCH, 2011).

O solo é um fator crucial para o desenvolvimento de vários tipos de erosão, mas para que esse tipo de processo se desenvolva outro fator precisa ser considerado, a cobertura e uso do solo. Em solos com vegetação conservada dificilmente a erosão se desenvolverá, pois, as raízes interceptam a água que vem a se infiltrar e guiam-na pelo solo, assim, menor será a quantidade de água escoada e por conseqüência, menos material transportando e retirado (LEPSCH, 2011). Dessa forma, podemos concluir a participação decisiva da vegetação no desenvolvimento de qualquer processo que ocorra sobre o solo. No caso de não haver vegetação para proteger o solo, as chances de o escoamento ser livre e a taxa de infiltração cair consideravelmente são altas, pois um solo assim é mal drenado, não absorve a água da forma como deveria, ocasionando início de atividades erosivas.

Outro fator relacionado ao solo é a sua composição textural e mineralógica, se é arenoso, argiloso, variando esse tipo de característica o solo se torna mais resistente ou não, devido alguns minerais se apresentarem mais duros que outros, a partir de sua composição química.

Normalmente os solos de áreas semiáridas são majoritariamente delgados e possuem consistência arenosa, bastante friável e mal drenada. Essas características descrevem um solo mal desenvolvido que pode ocasionar sérios problemas de erosão se não possuir uma vegetação que possa proteger sua superfície e melhorar seu sistema de drenagem. São essas características que vão influenciar os processos erosivos, a profundidade, a textura, a consistência, a friabilidade do material do solo. A composição estrutural do solo, e o seu material de origem são os pontos determinantes de como o solo vai se relacionar com a dinâmica atmosférica.

A condição do relevo para os processos erosivos é influenciada diretamente pela declividade desse modelado. Ao concluir que a água em seu ciclo natural corre majoritariamente por escoamento difuso no semiárido, pode-se concluir também que a umidade subterrânea baixa proporciona a intensificação do escoamento, ou seja, o processo se intensifica com o fato de a água não percolar o solo, e a maior consequência desse processo são as rampas que dominam a paisagem semiárida, os pedimentos (CORRÊA, SOUZA e CAVALCANTI, 2014).

Chorley (1969) afirmou que a taxa de erosão varia inversamente a temperatura, ou seja, maior a temperatura, mais baixas as taxas de erosão, levando em considerações que ao se referir aos trópicos inicialmente há a ideia de altas precipitações. As chuvas são os agentes majoritários do intemperismo químico, então as áreas com alta intensidade de chuva são foco de processos pedogenéticos, no entanto as condições do uso do solo definem de que forma esse intemperismo afetará o processo de erosão. Levaremos em conta o exemplo da área da floresta amazônica, foco de precipitação torrencial, onde o processo pedogenético é intensivo e a retirada de material é baixa se comparada a outras áreas, o material é desagregado, mas permanece na área e não é transportado. No entanto, em áreas sem a densa cobertura vegetal da floresta amazônica, cobertura vegetal esta que é decisiva para considerar o ambiente estável, ou como no caso desse trabalho, instável devida a cobertura esparsa da vegetação, as chuvas não possuem interceptador relevante que possam diminuir a força com que a água impacta o solo, nesse caso o efeito *splash* é intenso nesses momentos chuvosos. Além disso, pode-se contar com a irregular drenagem desse solo, que não possui um bom sistema de raízes para conduzir a água a infiltrar-se, o que ocasiona o escoamento da maior parte da água precipitada, intensificado os processos de morfogênese, atividades rápidas que demarcam o modelado do relevo em detrimento do desenvolvimento do solo (CASSETI, 2005).

No caso do semiárido a umidade é baixa, e a incidência do sol é intensa, além de ser considerada uma área intensamente degradada, ou seja, ausência de cobertura vegetal consistente para proteger o solo e torna-lo mais estável. O

intemperismo físico acontece todo dia nessa região, e todos os dias as partículas são desagregadas e transportadas pelo vento. Quando finalmente chove nessa área, a água atua como transporte dessas partículas, além de esculpir as formas que se tornam plásticas e facilmente modeladas deve-se a grande quantidade de argila presente no solo decorrente da baixa circulação de água em função dos largos interflúvios, além do predomínio de um arcabouço de rochas cristalinas e eventuais perfis mais desenvolvidos como luvisolos e planossolos (CORRÊA, SOUZA e CAVALCANTI, 2014).

A vegetação também determina o desenvolvimento pedogenético, uma área conservada e coberta de vegetação tende a desenvolver processos pedogenéticos, e gerar solos profundos devido a produção de matéria orgânica, mas aí está a questão que tange o clima. As áreas úmidas possuem maior volume de chuvas, o que possibilita maior desenvolvimento da vegetação e conseqüentemente, menor chances de erosão, pois a cobertura vegetal é inversamente proporcional a possibilidade de erosão, ela trabalha a favor da estabilidade dos sistemas. Compreende a uma vegetação bem conservada a manutenção do solo e das chuvas, e nesse caso a proteção do sistema encosta. Ainda sobre a vegetação, é importante salientar a necessidade de um solo de alto declive possuir em sua superfície alguma cobertura vegetal para a conservação do mesmo, ainda que de condição arbustiva ou gramínea, pois dessa forma, o solo pode drenar melhor a água beneficiando o processo de infiltração.

1.4. Modelos de Análise Ambiental

É tentando racionalizar a organização espacial de acordo com a exploração de recursos naturais que vêm sendo realizados diversos trabalhos de análise e mapeamento ambiental que corroborem para a otimização do manejo das áreas. São muitos os exemplos de áreas degradadas devido ao excesso de utilização sem o devido controle, e que vem a resultar em trabalhos científicos que buscam o melhor aproveitamento dos espaços naturais e seus recursos, além de realizarem estudos

de caso em muitas áreas. As técnicas de segurança ambiental implementadas nas cidades e no campo, e os métodos para mensurar determinados valores interessantes ao manejo do ambiente, entre outros, nada mais são do que maneiras de proteger a sociedade de possíveis desastres. Dentre essas técnicas utilizadas para o provimento de segurança ambiental e social, estão alguns conceitos importantes como a vulnerabilidade, a susceptibilidade e a sensibilidade. São conceitos que baseiam análises para subsidiar planos de manejo e gestão, assim como o conceito de fragilidade.

A vulnerabilidade segundo Tagliani (2003, p1659), corresponde “a maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial provocado por um uso antrópico qualquer”. Para Acsehrad (1997, p2) “está normalmente associada à exposição aos riscos e designa a maior ou menor susceptibilidade de pessoas, lugares, infraestruturas ou ecossistemas sofrerem algum tipo particular de agravo”, ou seja, é um conceito que estuda e analisa o ambiente de acordo com impactos gerados. As metodologias acerca desse conceito também são baseadas em aspectos fisiográficos, um deles, o uso do solo, é o que considera a atuação humana e desenvolve maiores informações sobre de que forma os impactos antrópicos foram impressos no ambiente.

Assim como a vulnerabilidade, a susceptibilidade é um conceito responsável em designar quais as chances, ou tendência a agravos negativos, numa perspectiva ambiental em sua relação com a sociedade (LISBOA E FERREIRA, 2011). São metodologias que avaliam a morfodinâmicas, pedogênese e morfogênese do ambiente, elementos que abarcam uma dinâmica lenta.

O conceito de sensibilidade é considerado mais complexo, por ser baseado nas mudanças de controle do sistema ambiental, a estabilidade do sistema, sua individualidade é considerada fator preponderante a análise do ambiente nessa perspectiva. A sensibilidade avalia a capacidade que o sistema possui de produzir respostas reconhecíveis aos impactos aplicados, e as probabilidades de mudanças nos impactos aplicados, assim como nas respostas a esses impactos (SOUZA E CORREA, 2015). A resistência dos sistemas vai determinar se a sensibilidade é alta

ou baixa, tudo dependerá da estabilidade do sistema a adaptar-se. Em termos gerais consta como sua capacidade de ajuste. Nesse caso, para avaliação da sensibilidade, é preciso estudar os elementos do sistema, sua morfologia, estrutura, e distribuição de energia potencial e cinética e a partir de aí atingir resultados satisfatórios para enfim alcançar a produção de um excelente plano de manejo.

Vitte e Santos (1999) buscaram o significado de fragilidade e o de meio ambiente para desenvolver enfim o conceito de fragilidade ambiental, que consiste em um ambiente de risco. Spörl (2007) afirma que a fragilidade é a suscetibilidade do sistema ambiental a qualquer tipo de dano, ou seja, ambiente em situação de risco, podemos concluir que a fragilidade ambiental corresponde a paisagem estar vulnerável ou não a determinados efeitos negativos ou ainda, a tendência que o sistema possui de sair do estado de estabilidade e sofrer retroalimentação positiva.

Quase todos os trabalhos sobre o tema são propostas de modelos para servir como subsídio ao planejamento ambiental (SPÖRL, 2001). Nesses modelos entra em cena o princípio da inter-relação em concordância com os sistemas ambientais físicos, pois a metodologia mais utilizada (ROSS, 1994) baseia-se no conceito de Unidade Ecodinâmica (TRICART, 1977) que é baseado no pensamento sistêmico. Fatores como relevo, geologia, clima e uso da terra são utilizados integralmente para elaboração das análises que culminaram nos modelos. Spörl (2001), afirma ainda que, a partir de documentos como estes torna-se possível apontar as áreas onde os graus de fragilidade são mais baixos ou mais altos favorecendo ou prevenindo inserções e adequações ao sistema em ênfase. É desta forma que a mensuração da fragilidade se torna uma ferramenta importante para diversos projetos de planejamento territorial ou ambiental.

A fragilidade ambiental está relacionada com a dinâmica que a estabilidade do sistema desenvolve e seu limiar de mudança. De acordo com Ross (1992) se trata de o sistema estar em equilíbrio dinâmico ou não, pois estando o sistema em equilíbrio dinâmico naturalmente a estabilidade é alta e menor será a chance desses sistemas estar frágeis às exposições. Segundo Ross (1994) as unidades de fragilidade dos ambientes naturais devem ser resultantes dos levantamentos

básicos de geomorfologia, solos, cobertura vegetal/uso da terra e clima. Esses elementos tratados de forma integrada possibilitam obter um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais. Spörl (2007) afirma que ao quebrar o estado de equilíbrio dinâmico o sistema pode entrar em colapso, e passando a se encontrar em um estado de risco, e susceptível a alterações.

As características ambientais como solo, ou declividade, são os principais fatores a serem levados em consideração numa situação de escoamento superficial que tende a processos erosivos. Dentre os processos mais recorrentes estão as inundações, erosão de solos, os assoreamentos de cursos de água e os movimentos de massa (SPÖRL,2007). E para chegar a conclusões quanto ao nível de fragilidade é necessário desenvolver estudos integrados dos elementos da paisagem que são os que compõem o sistema, e a partir daí pode-se estabelecer níveis de fragilidade.

As metodologias acerca do estudo de fragilidade consideram os elementos físico-naturais, e uma das mais utilizadas é a de Ross (1994), que está presente em diversos trabalhos sobre morfodinâmica e morfoestrutura. Silva, *et al* (2011) alcançaram resultados relevantes ao aplicar essa metodologia com algumas adaptações no alto curso da bacia hidrográfica do alto Pajeú em Pernambuco. Foi possível desenvolver a pesquisa a partir de imagens de Landsat e SRTM, banco de dados do ZAPE (Zoneamento Agroecológico de Pernambuco), assim como outras informações originadas de trabalhos já realizados. Foram estabelecidos pesos para diferentes situações de fragilidade para cada elemento e gerou-se um novo produto a partir do ArcGis 9.3.

Desse modo também o fizeram Donha, Souza e Sugamoto (2006), ao aplicar a metodologia de ROSS como base para alcançar os resultados objetivados em Pinhais, região metropolitana de Curitiba. O Software utilizado neste trabalho foi o IDRISI 32 que possui mais opções para auxiliar o processo de tomada de decisão, e assim utilizaram o comando *Fuzzy* para representar a variação dos valores de cada fator em relação à fragilidade.

2. METODOLOGIA

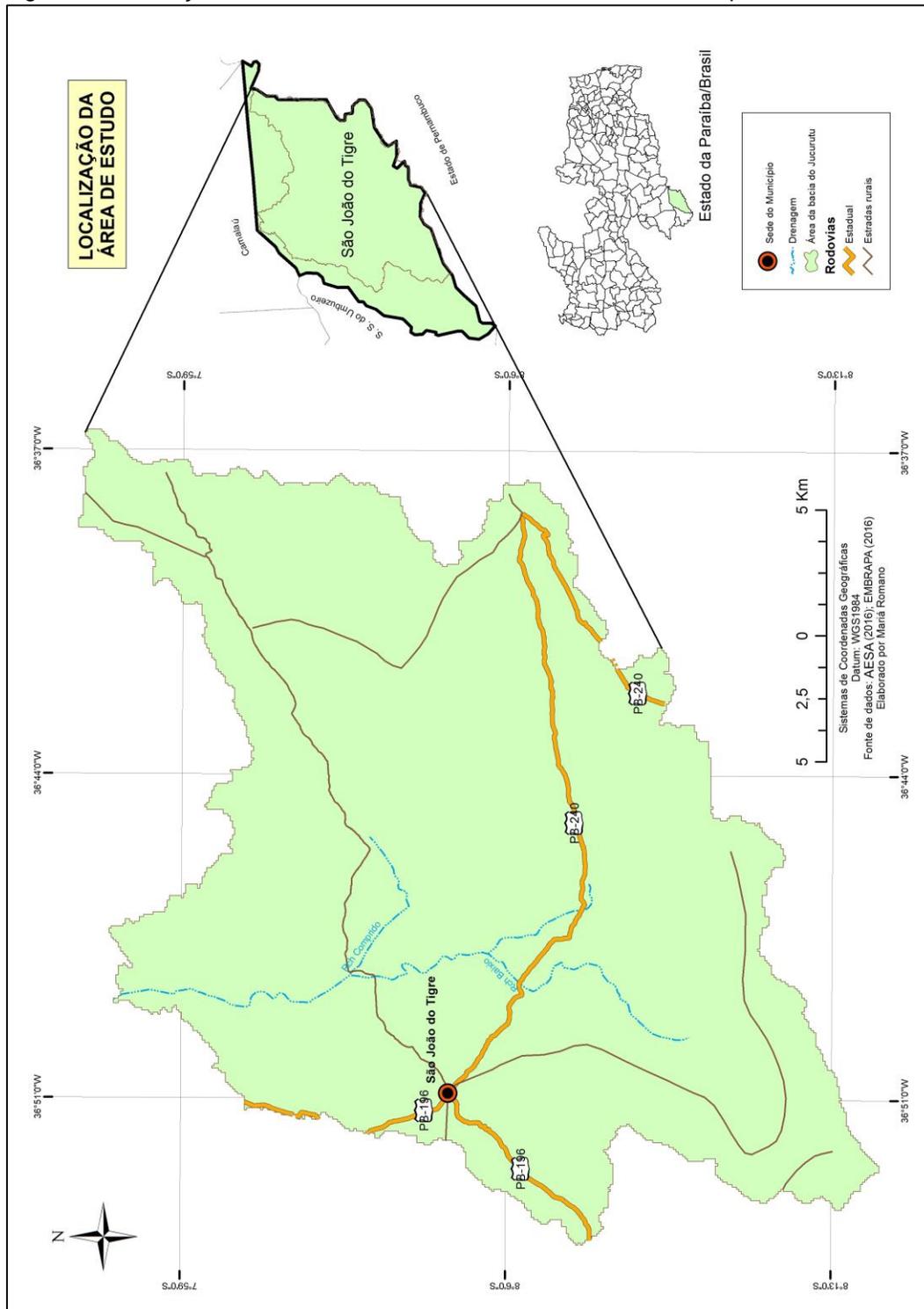
2.1. Aspectos fisiográficos da área de estudo

O trabalho foi realizado na bacia do riacho Jucurutu localizada no município de São João do Tigre (figura 02). O município está inserido na microrregião do cariri oriental e possui 816 Km² de área. De forma geral a toponímia local dos riachos é bastante confusa, de modo que comunidades diferentes utilizam diversos nomes para o mesmo canal (Raposa, Santa Maria, Grande, entre outros); para facilitar nesse trabalho o nome utilizado será riacho Jucurutu. É a área que apresenta os menores índices pluviométricos do semiárido brasileiro, e exige alguns cuidados na sua gestão para um manejo adequado (IBGE,2010). O município faz limite com os municípios de São Sebastião do Umbuzeiro na sua porção oeste, além de Camalaú e Poção do lado leste já do estado de Pernambuco.

Acerca das características fisiográficas da área, o município possui relevo suavemente ondulado, com vertentes dissecadas e vales estreitos, introduzida no domínio Planalto da Borborema, com presença de relevos residuais testemunhos do intenso processo residual presente na área (CPRM,2005). Segundo a classificação de Koppen, o clima da área é o Bsh, quente, semiárido e com estação chuvosa definida no verão e de altitude, com temperatura média anual de 28°C, ao analisar a temperatura anual podemos observar uma amplitude térmica de 8 a 10°C sendo a mínima de 18°C entre os meses de junho e julho e a máxima oposta nos meses de dezembro a janeiro, chegando a quase 40°C.

As serras presentes na área, possibilitaram temperaturas mais amenas de acordo com a altitude alcançada como por exemplo a Serra do Paulo, Quaty, e Serra da Pintura, que estão acima dos 800 m de altitude (SUDEMA, 2005). O período chuvoso vai do mês de janeiro a maio, com médias de 440 mm por ano, mas devido ao comportamento irregular dessas chuvas, é recorrente acontecer de chover muito menos do que o esperado ou zero durante todo o mês.

Figura 1 Localização da área de estudo, Bacia do Riacho Jucurutu/Raposa



A respeito dos elementos geológicos, a bacia do riacho Jucurutu possui alguns cisalhamentos transcorrentes, tanto de caráter dextral (ao longo da direção NW-SE), quanto sinistral (nas direções NE-SW e N-S), além de falhas que são

facilmente percebidas ao observar seu mapa geológico, e que controlam vários trechos da rede de drenagem. A composição geológica é majoritariamente de granito e variações de granitoides, além de gnaiss, calcário, mármore, quartzitos, rochas metavulcânicas (CPRM, 2005).

A cobertura vegetal presente, é caracterizada majoritariamente pela Caatinga Hiperxerófila com trecho de floresta Caducifólia, que é formada de composições arbustivas e arbóreas, de acordo com a presença majoritária de espécies arbóreas ou arbustivas observamos as caatingas arbóreas arbustivas fechadas e abertas, ou as caatingas arbustivas arbóreas fechadas ou abertas, cada uma com densidade vegetal diferente.

2.2. Procedimentos Metodológicos

O trabalho tem como referência principal a metodologia utilizada por Ross (1994,2003) que atribui o nível de fragilidade a partir dos seguintes elementos físicos da paisagem : clima, geologia, geomorfologia, pedologia, além da cobertura da terra, incluindo vegetação natural e uso do solo, e a inter-relação desses fatores indicaria a fragilidade ambiental emergente. Sendo dessa forma, cada elemento físico natural possui sua integração com outros fatores determinantes dos processos naturais da atmosfera: a geologia é responsável pela coesão dos materiais, seus tipos de rochas (em alguns casos as estruturas também influenciam diretamente as altitudes e o relevo), e dessa forma de como os elementos climáticos vão reagir nessa estrutura, a pedologia depende da composição mineralógica e da estrutura rochosa, assim como depende do clima que é estreitamente relacionado com a pluviosidade, a geomorfologia que compreende as medidas de declividade e que agravam as condições de escoamento ou de erosão em lençol, e finalmente o uso do solo que é avaliado juntamente a cobertura vegetal, que vai ser fator direto em cima do solo. O uso do solo foi avaliado de acordo com o nível de proteção que o solo possui, sendo muito protegido o solo que possui uma densa comunidade vegetal, média proteção em caatinga esparsa, e o menos protegido aquele que é

atropizado e sem planejamento (Batista e Silva, 2013).

Para reconhecimento e caracterização dos elementos ambientais da bacia, foram elaborados cinco mapas referentes a geologia, ao uso e ocupação do solo, ao clima, ao solo, e declividade. Esses mapas foram construídos a partir de dados secundários (shapefiles) disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, AESA, e o recorte da bacia do riacho Jucurutu/Raposa. Com os dados disponíveis, foram pesquisados todos os elementos presentes em cada um dos shapes, que possuíam informações acerca de cada aspecto (solo, clima, geologia) e suas variáveis retirados dos dados do IBGE(2007), como por exemplo o pacote geológico Granito e Gnaiss nos mapas de geologia, ou o uso do solo da Caatinga. Obtendo essas informações, foi possível caracterizar os níveis de fragilidade e parametrizá-los.

Para atribuição dos valores de fragilidade solos foi feita pesquisa bibliográfica quanto à classificação de cada solo e suas respectivas composições e tendências à erosão. É importante considerar os elementos de coesão de partículas, profundidade, espessura, pois estas características estão diretamente relacionadas ao relevo, clima, litologia, elementos motores da pedogênese (Ross,1994), em sua maioria são considerados os comportamentos do solo quanto ao escoamento difuso e superficial, e a infiltração, e dessa forma, alguns solos são mais frágeis (ou erodíveis) do que outros. Os solos com maior quantidade de argila, são mais resistentes do que os solos arenosos e dessa forma mostra-se importante também considerar a composição desse solo. As observações de campo demonstraram a presença de excesso de detritos nos neossolos, facilmente friáveis, em uma seqüência excessiva, ajudando a concluir uma fragilidade relativamente alta.

O uso do solo é preponderante ao efeito desses eventos nos solos, e é por isso que é analisado em conjunto com o tipo, cobertura vegetal, além de lembrar a necessidade de observar a classificação de uso do solo para saber quais as atividades podem ou não, e se é necessário considerar uma atividade de conservação do solo.

O valor de fragilidade atribuído ao uso do solo foi pesquisado a partir de Ross (1994) onde ele enumerou diversos usos como pastoreio, cultivo de diversas culturas, áreas pisoteadas, áreas agricultadas, áreas desmatadas ou áreas queimadas de acordo com o nível de fragilidade dessas condições nos valores de um a cinco sendo um muito fraco e cinco muito forte. Os usos que compreendem cultivos de monoculturas e pastoreio são os que determinam fragilidades mais fortes variando de acordo com o tipo de solo deste uso. O preparo de solos com o arado resulta em mais perda de solos comparado com o preparo do solo com grades de disco, concluindo que existem opções para evitar desgastes maiores do que os já ocasionados pelo cultivo e que precisam de mais divulgação e incentivo.

Foi utilizado o manual técnico da vegetação brasileira e as classificações de Souza (2008) para identificar as formações das comunidades vegetais presentes na área, como a caatinga arbórea arbustiva fechada e aberta, e para entender o que significavam as denominações. A denominação fechada corresponde a maior densidade da comunidade vegetal e aberta a menor densidade de vegetação. O conceito de caatinga é por vezes relacionado a características gerais como o clima e sequeidão, mas também deve corresponder à exclusiva regionalidade dos espécimes presentes na sua biodiversidade, assim como na geodiversidade, e por vezes como vegetação caducifólia espinhosa (ALCOFORADO FILHO; SAMPAIO; RODAL, 2003).

Os valores referentes ao elemento geologia foram atribuídos a partir de pesquisas em materiais como a escala de dureza de Mohs (figura 1), e nos relatórios técnicos dos levantamentos geológicos. A geologia compreende os minerais e rochas formadores do pacote geológico que dará base para a esculturação do relevo e desenvolvimento do solo.

A produção dos mapas temáticos e de fragilidade foi realizada no ArcGis, da seguinte maneira: os arquivos obtidos foram abertos no software e em seguida foi realizado o corte do arquivo dentro da bacia do riacho Jucurutu com a ferramenta *clip* para que contemplasse apenas aquela área. A partir de então se cria uma coluna de valores para a fragilidade de cada fator temático em 'abrir tabela de

atributos', e atribui-se os valores referentes a fragilidade de cada característica da geologia, geomorfologia, solos, uso e ocupação do mapa, irrigação, ou aquíferos de acordo com a susceptibilidade daquela condição a uma deterioração, que é pesquisado ao parametrizar os valores.

Para atribuir os valores referentes à declividade, foi utilizado o Manual técnico de Pedologia, onde as porcentagens de declividade estão classificadas da seguinte maneira:

- Plano – menor que 3%
- Suave ondulado – 3% até 8%
- Ondulado – 8% até 20%
- Forte ondulado – 20% até 45%
- Montanhoso – 45% até 75%
- Escarpado – acima de 75%

A partir daí atribuiu-se valores gradativos de 1 a 5 do relevo Plano ao Escarpado, devido a acentuação do agente passivo dissecação-gravidade do relevo.

Para a realização do cálculo de fragilidade, é necessário transformar os arquivos que estão em formato de polígono (shapefile) em raster, e para isso utiliza-se a ferramenta *conversion > polygon to raster* e utilizar a nova coluna criada na tabela de atributos, de fragilidade como informação. Em seguida, com o raster criado e normatizado aos valores de fragilidade, executa-se o cálculo da fragilidade com a ferramenta raster calculator no ArcToolBox, somando todos os elementos transformados em raster (solos, clima, geologia...) e dividindo-os por 5, o número total de mapas. O resultado obtido é o mapa de fragilidade geral.

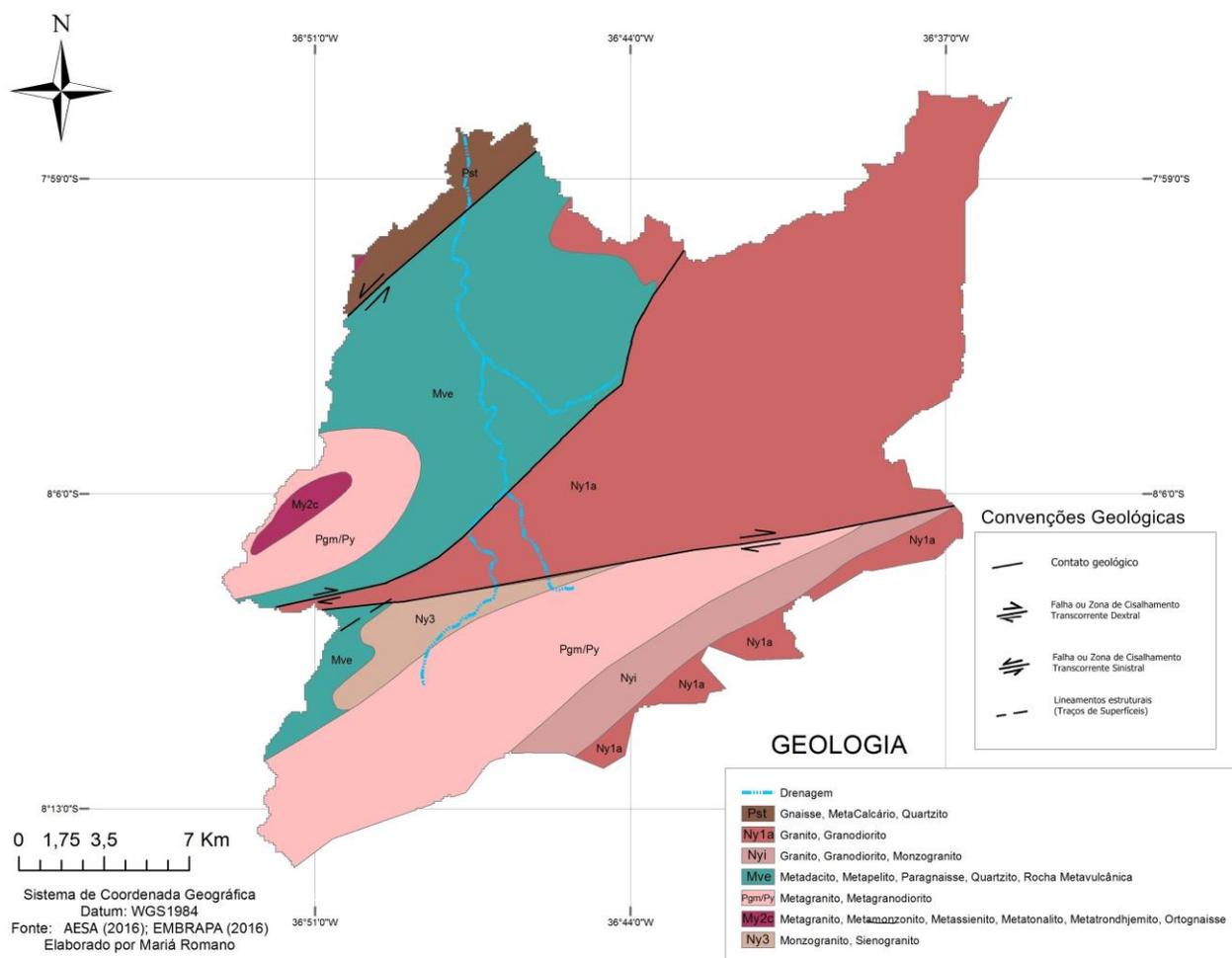
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados em banco de dados como AESA, APAC, IBGE foram gerados seis mapas com os elementos fisiográficos da bacia do riacho Jucurutu, Geologia, Uso e ocupação, solos, declividade e clima. A partir da interpolação dos dados presentes nos mapas foi gerado o mapa de fragilidade ambiental, que constitui o grau de fragilidade da área de acordo com suas características (ARAÚJO, 1998).

A análise da geologia da área teve como foco a avaliação da resistência das rochas a desagregação, sendo analisados os minerais componentes e seus arranjos para cada unidade. A geologia da área (figura 3) apresenta características de falhas transcorrentes, um cisalhamento tanto de ordem dextral quanto de ordem sinistral, respectivamente na porção sul e norte da bacia. A geologia da bacia possui litologias originárias do neoproterozóico quando o continente Gondwana se formou a partir da colisão de fragmentos do antigo super continente Rodínia com majoritária litologia ígnea ou magmática, que deram origem a solos ácidos que em sua composição apresentam maior quantidade de SiO_2 como granito e suas variações, quartzo, além da forte presença de suíte shoshonítica ultrapotássica Triunfo (sk) marcada pela presença de minerais como ferro e magnésio (LIZ et al, 2009).

A unidade litoestratigráfica do Paleoproterozóico compreende o Complexo Sertânia que apresenta Gnaisse, mármore, quartzito e rocha metavulcânica máfica. Santos, Nutman e Neves (2004, p1) explicam que “O Complexo Sertânia é uma sequência metassedimentar com pequena contribuição metavulcânica, de fácies anfíbolito alto, que ocorre no Terreno Alto Moxotó, Zona Transversal da Província Borborema”. A composição majoritária do complexo Sertânia são gnaisses e migmatitos, rochas que possuem mineralogia principal como quartzo, feldspato, plagioclásio, minerais relativamente resistentes.

Figura 2 Mapa Geológico da bacia do riacho Jucurutu



A litoestratigrafia do período Mesoproterozoico compreende litologia formada por corpo de granitoides indiscriminados como metagranito, metagranodiorito, metamonzodiorito, e Complexo Vertente que é caracterizado por apresentar caráter metavulcanossedimentar composto por algumas rochas vulcânicas máficas, alternando para gnaíse bandado (Brasilino, Miranda e Medeiros, 2008). As litologias acima citadas com nomenclatura composta de prefixos 'Meta', são assim chamadas porque passaram por processos de

transformação e derivam das rochas também presente na sua toponímia, como por exemplo os metagranitos.

A área da bacia apresenta litologias majoritariamente formadas por granito e gnaiss. Algumas rochas são compostas de feldspatóide como Monzogranito e Sienito, e por isso são mais frágeis do que os outros granitoides indiscriminados que possuem quartzo em sua composição majoritária como metagranito, granodiorito.

Por isso é importante considerar a composição mineralógica dessas litologias para que se possa estabelecer um nível de fragilidade para as rochas. Foi utilizada a escala de Mohs para a identificação da dureza desses minerais presentes na litoestratigrafia.

De acordo com as rochas que estão em cada unidade geológica, encontra-se os minerais quartzo, feldspato e calcita, o quartzo sendo o mais resistente deles, e por ventura é o mais presente na composição litológica da bacia. São compostos de quartzo e mais resistentes a intempéries. Os granitos como metagranito, metagranodiorito, metassienito, sienogranito, granito, sienito tem sua estrutura composta majoritariamente por minerais quartzos, são rochas faneríticas de tons máficos, que estão na posição 7 da escala de dureza, isso significa que são áreas menos vulneráveis a atividades erosivas, e por isso foi atribuído valor 2 de fragilidade.

As rochas derivadas de minerais como feldspato, ou no caso do granodiorito que possui em sua composição majoritária Plagioclasio (grupo feldspático) mas ainda com presença de quartzos, são mais frágeis que as com composição de quartzo mais relevante, e por isso, foram classificadas como nível 2 de fragilidade na atribuição dos valores. São elas, monzogranito, granodiorito e rocha metavulcânica.

Encontra-se ainda a presença de rochas derivadas de composição sedimentar, que apresenta fragilidades às intempéries ainda maiores do que as metamórficas e ígneas. São litologias que passaram por metamorfismos como o

Paragnaisse, metapelito e o metacalcário, mas que se originaram todos de processos a partir de materiais sedimentares, como argilito, calcário ou argila, então sua composição mineralógica parte dessa família, sendo assim, foi atribuído valor de fragilidade cinco para esse grupo de litologias.

Como as classes de rochas estão misturadas nas suas localidades na bacia, foi considerada a média das fragilidades de cada classe de rocha de acordo com seu mineral (dentro da escala de dureza de Mohs) e sua natureza (sedimentar, ígnea ou metamórfica) dentro da outra classe cuja presença está inserida e se apresenta na litoestratigrafia do terreno da bacia. Então, dessa forma se encontram na primeira classe Gnaisse, Metacalcário e Quartzito, o Gnaisse possui fragilidade nível 3 como as rochas quartzo-feldspáticas de estrutura folheada, o Metacalcário por possuir origem sedimentar e mineralogia frágil é classificado como frágil de nível 5 e o Quartzito por ser uma rocha metamórfica com grãos de quartzo que se desenvolveram a partir de recristalização de arenito (mineral calcário) tem fragilidade nível 4, conclui-se que a primeira classe possui fragilidade nível 4, que consiste na média das fragilidades das três rochas.

Algumas dessas rochas ígneas como o Metadacito, ou o próprio granito, possuem outras mineralogias como a biotita ou a muscovita, no entanto, a nomenclatura das rochas conta com a classificação das proporções de cores máficas (rochas escuras) que são em sua maioria 90% da rocha, e é por isso que para definir a sua nomenclatura e caracterizá-la é possível classifica-las a partir de seus constituintes félsicos (rochas claras), feldspato e quartzo.

A tabela abaixo (tabela 01) organiza de forma clara as fragilidades referentes a geologia de acordo com sua mineralogia, que também está de acordo com a escala de dureza de Mohs, citado anteriormente (figura 01).

Tabela 1: Fragilidade das litologias

Mineralogia	Litologia	Fragilidade
Calcário	Metacalcário, Metapelito, Paragnaisse	5
Feldspato/ Plagioclásio	(Meta)Granodiorito, Monzogranito, Metadacito, Gnaisse, Metadacito, Metavulcanica, Monzogranito, Sienogranito	3

Quartzo	Quartzito, Granito, Metagranito, Metamonzonito, Metassienito, Metatonalito	2
----------------	--	---

A partir desses valores, foram definidas as médias e arredondados os valores para cada unidade geológica (tabela 02):

Tabela 2: Fragilidade das Unidades Geológicas

Classes	Fragilidade
Gnaise, Metacalcário, Quartzito	3
Granito, Granodiorito	3
Granito, Granodiorito, Monzogranito	3
Metadacito, Metapelito, Paragneisse, Quartzito, Metavulcanica	4
Metagranito, Metagranodiorito,	2
Metagranito, Metamonzonito, Metassienito, Metatonalito	2
Monzogranito, Sienogranito	3

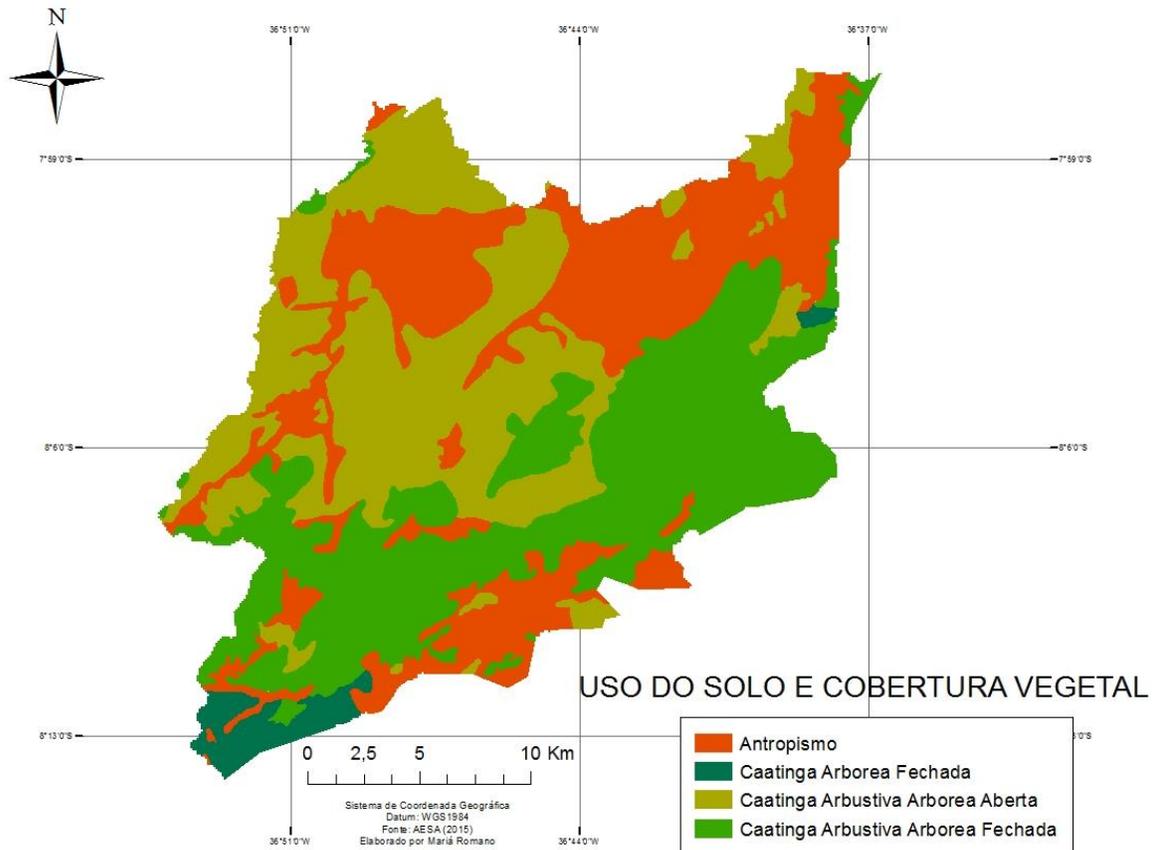
Em relação ao uso e cobertura do solo (figura 04), a área estudada é caracterizada pela presença de Caatinga arbustiva arbórea que pode ser encontrada em maior densidade (fechada) na região sul e sudeste da bacia justamente a área que compreende ao clima mais ameno e com maior presença de umidade em relação ao norte da bacia que possui mais baixas taxas de umidade relativa do ar, onde a presença da Caatinga é mais esparsa e menos densa (aberta).

A vegetação de caatinga é caracterizada pelas formações xerófilas, arbustos de galhos retorcidos e raízes muito profundas, folhas pequenas e ásperas. Em alguns locais onde ocorre baixa fertilidade, ocorre espécies mais resistentes como o Mandacaru, a Jurema Preta, ou o Angico.

Ao observar o mapa gerado a partir dos dados de uso e ocupação do solo, é possível acompanhar as ações de antropismo (cultivo de culturas regionais, pasto,

e retirada de madeira). Em áreas de caatinga arbustiva arbórea aberta, há o desmate da área para a atividade, o que agrava as condições vulneráveis tornando o solo mais desprotegido do que o estado anterior de caatinga aberta.

Figura 3 Uso e Ocupação do Solo da Bacia do riacho Jucurutu



As áreas de antropismo são de alto nível de fragilidade (figura 04), correspondendo muitas vezes a áreas em processos de degradação e que chegaram a esse ponto a partir de intensas e atividades inadequadas, em solos que não possuíam suporte para estas determinadas atividades. As espécies vegetais que estão nessas áreas de antropismo apresentam poucas espécies arbóreas, incluindo espécies exóticas (SOUZA, 2008).

Figura 4 Caatinga antropizada, devido ações como pastoreio e retirada de vegetação.



Fonte: Rachel Maia (2015)

Concomitantemente as atividades pecuárias, os impactos gerados pela criação desse gado são facilmente diagnosticáveis. O comportamento alimentício dos caprinos é de caminhar junto ao rebanho enquanto estes se alimentam, o que faz com que toda a área em que o gado cruzar apresente sinais de destruição, pois se alimentam das novas plantas que estão ainda nascendo, e degradam o estrato lenhoso (ALBUQUERQUE, 2004). Além disso a criação de gado caprino danifica o solo, compactando-o em razão dos rebanhos que pela área circundam, podemos assim concluir que a criação de gado caprino é agente intensificador da erosão do solo.

A caatinga da área de estudo é trabalhada como dois diferentes tipos, mais esparsa e com maior quantidade de espécies arbustivas, como as espécies arbustivas dominantes pinhão bravo, marmeleiro, xique-xique, e mais densa, com vegetação mais encorpada, onde as espécies são as mesmas, mas mais próximas umas das outras e com solo mais protegido, diminuindo a fragilidade dessas áreas consideravelmente. Há ainda a caatinga arbórea fechada, onde ocorrem espécies como Angico, Baraúna, Aroeira, Pereiro, Facheiro, Umbuzeiro, Mandacaru

(SOUZA, 2008). A Caatinga Arbórea Fechada é pouco encontrada na área de estudo, e está bem mais conservada que todas as outras classes, desenvolvendo uma proteção do solo superior e disponibilizando uma melhor estrutura de absorção de água. Por essas razões está em número dois de fragilidade.

A caatinga arbustiva arbórea aberta, possui os dois tipos de composição, tanto a arbórea quanto a arbustiva, no entanto a presença mais marcante é de espécies arbustiva, característica de um solo pouco profundo e relativamente degradado apresentando atividades antrópicas como pasto, e retirada de algumas espécies arbóreas (SOUZA, 2008). A caatinga arbustiva arbórea fechada apresenta mais densidade das espécies, que são os mesmos presentes no estrato aberto, mas que, no entanto, estão em maior quantidade.

Por questões de volume pluviométrico, estão presentes na porção sul e sudeste da área, onde o clima é o mais ameno e possui maior umidade. Apresenta poucos focos de antropismo se comparado à porção de caatinga aberta. Pode-se presumir que por seu solo não ser muito adequado ao cultivo (neossolo litólico), funciona apenas para pasto caprino, além de apresentar uma drenagem mal desenvolvida e um solo razoavelmente ácido. É a pouca utilização do solo, que o designa caráter arbustivo arbóreo fechado, pois os solos que a ocorrem são de fragilidade mediana, e dependendo da forma como é utilizado pode ser degradado com facilidade. A Caatinga arbórea fechada é formada por majoritariamente estrato arbóreo em densidade elevada, podendo se encontrar esse tipo de comunidade na porção sudoeste da área de estudo e poucas manchas nas áreas que predominam estrato arbustivo fechado.

A figura 6 mostra uma foto que compreende a porção de caatinga arbustiva aberta em estado de degradação, em primeiro plano a vegetação rasteira com a presença de jurema no canto inferior esquerdo, e peão bravo, área esta que foi utilizada para pasto e que apresenta processo de regeneração. E mais adiante, em segundo plano, área de caatinga arbustiva arbórea fechada, em condições de maior conservação, e que está na classe número três de fragilidade por desenvolver maior proteção ao solo apresentando menor espaço entre as espécies.

Figura 5: Caatinga arbustiva arbórea aberta e mancha de caatinga arbustiva arbórea fechada.



Às classes presentes no mapa foram atribuídos valores de um a cinco quanto a sua fragilidade, sendo um para muito pouco frágil e cinco para muito frágil, uma adaptação da metodologia de ROSS que enumerou as classes de proteção do solo, do mais protegido ao menos protegido (tabela 3).

Tabela 3: Fragilidade para as classes de cobertura da terra.

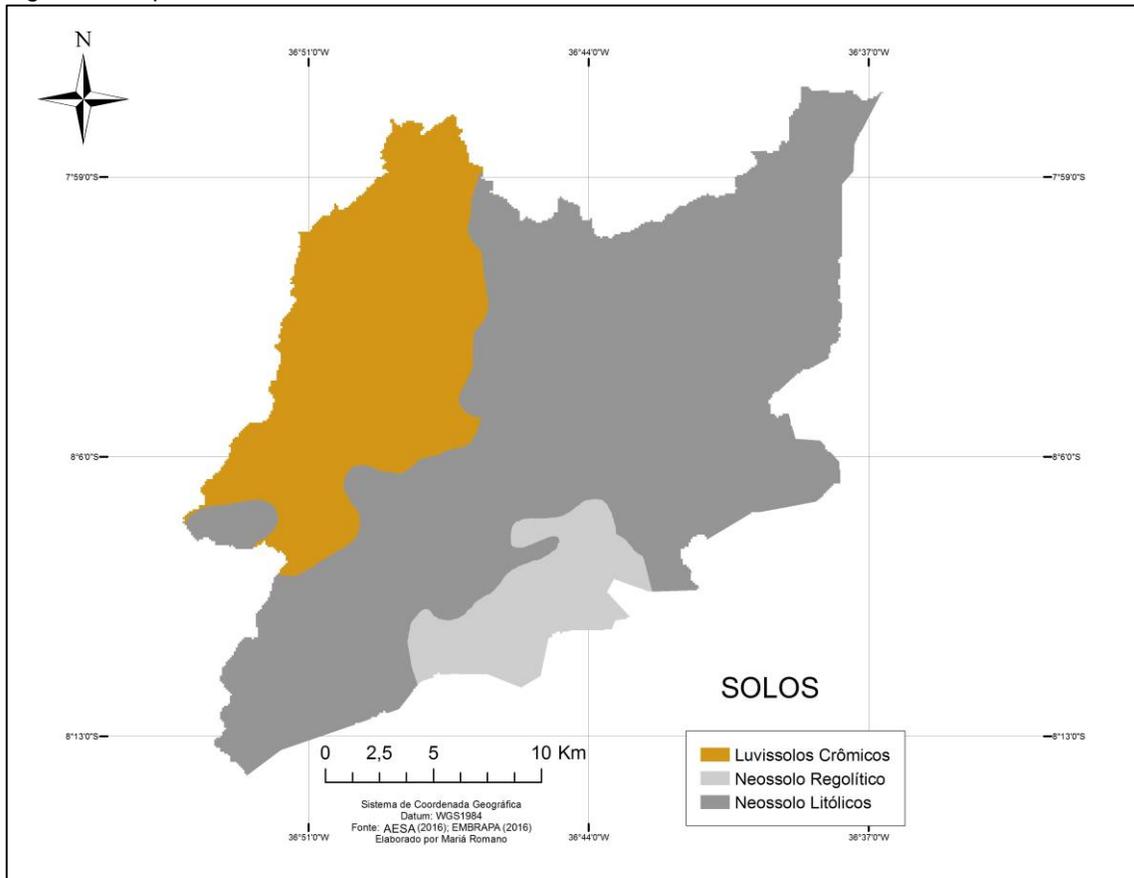
Estrato	Fragilidade
Caatinga Arbustiva Arbórea Aberta	4
Caatinga Arbustiva Arbórea Fechada	3
Antropismo	5
Caatinga Arbórea Fechada	2

O estrato arbustivo arbóreo aberto foi classificado como número quatro de fragilidade, pois apresenta formação vegetal de porte baixo, que se intercala com herbáceas (dominam o velame e a malva branca) e que deixa o solo exposto à radiação solar, e chuvas concentradas que provocam erosão, e que desenvolve

erosões laminares. Além de se apresentar comum em áreas que já possuem degradação e que corroboram para o desenvolvimento do processo erosivo.

Atrelado a lógica da dinâmica estrutural dessas áreas, ao observar sua pedologia, pode-se perceber a maior parte da atividade morfogenética, com características claras de eventos rápidos, e processos dinâmicos, agregados a intensa ação de denudação da superfície que corrobora com a derivação de formas características do semiárido ocupado de caatinga degradada. O que ocorre com o solo é inversamente proporcional, em virtude da atuação dinâmica e acelerada dos eventos denudacionais e transformadores da paisagem e da morfologia do relevo, não há tempo para o desenvolvimento do solo, pois o processo erosivo é proporcionalmente maior. As atividades pedogenéticas são corroboradas a partir de elementos essenciais, como a cobertura vegetal do solo, grande fonte de detritos para o desenvolvimento do solo. O que se vê no bioma caatinga, é a presença de solos delgados e frágeis, com uma cobertura vegetal insuficiente ao seu desenvolvimento. Desse modo, a bacia apresenta três classes de solos dominantes, Luvisolos Crômicos, Neossolos Regolíticos e Neossolos Litólicos (figura 7).

Figura 6: Mapa das Classes de Solos



Os Luvisolos ocorrem em regiões distintas, de características climáticas diferentes, e são diferenciados pelos seus componentes e horizontes. O Crômico possui horizonte B bastante avermelhado e por vezes apresentam acúmulo de carbonato de cálcio, são comuns em vegetação do tipo caatinga, com vegetação espinhosa, arbustiva e cactácea. As características mais gerais do luvisolo crômico (figura 08) o limitam a pouca profundidade e por consequência disso, vegetação pouco densa e de caráter arbustivo, além de possuir relativa presença de carbonato de cálcio, que o torna um solo extremamente básico, junto a sua composição argilosa (LEPSCH, 2010). Os luvisolos crômicos são pouco friáveis, tem tendência a salinização (acúmulo de sal) e solonização (dispersão da argila), no entanto os Luvisolos são considerados os mais resistentes do semiárido.

Figura 7 Mancha de Luvisolo Crômico no município de São João Tigre.



Fonte: Rachel Maia (2015)

Os Neossolos são solos com pouca, ou nenhuma evidencia de atividades pedogenéticas subsuperficiais, estão presentes em relevos com suaves ondulações (LEPSCH, 2010). Apesar de serem resistentes a intemperismos quando possuem quartzo e areia na sua composição, são rasos, e não dão suporte para nenhum tipo de cultura, exceto os solos com formações básicas e que possuam amostras de calcário, sendo indicados apenas para pastagem, quando há presença de caatinga arbustiva ou herbácea; contudo, mesmo sem serem adequados, costumam ser utilizados para agricultura de subsistência. São limitados quanto a sua resistência, pois o corpo vegetal que deveria e pode protegê-lo quase nunca está presente. A pouca profundidade e a expressiva presença de rochas desfragmentadas dificultam a densidade vegetal de se proliferar.

Mas são solos que variam de acordo com a geologia local. No caso da presente área de estudo, a “rocha mãe” dos solos litólico e regolíticos são derivadas de granitos, que possuem em sua composição quartzo, mineral razoavelmente resistente, e feldspato, que já possui uma menor resistência que o quartzo. Dessa forma podem ser rochas bastante friáveis por influências dessa composição.

O Neossolo Regolítico e o Litólico são susceptíveis a intemperismo e possuem diversas limitações quanto ao seu uso para o cultivo. Entretanto, o solo litólico apresenta maior limitação, por ser via de regra mais delgado que o regolítico,

além de não conseguir armazenar água, e ser altamente pedregoso, dessa forma mesmo com utilização baseada na pastagem, sua principal indicação é a conservação ambiental (EMBRAPA, 2014). Outra característica dos neossolos, como o regolítico, é o pouco teor de matéria orgânica, onde mesmo apresentando baixa fertilidade natural é utilizado para agricultura de subsistência, pecuária extensiva, agricultura irrigada, além de ser ocupado para habitação.

Outro fator importante para o desenvolvimento do solo é a sua composição de comunidade vegetal. Dependendo da forma como esse solo é protegido, e a densidade da população dessa vegetação, há maior chance do solo se desenvolver e proteger-se das atividades erosivas que não contribuam para o desenvolvimento desse solo.

Os valores de fragilidade atribuídos a cada solo variam de acordo com a composição desse solo, se é mais vulnerável aos eventos atmosféricos, se possuem vulnerabilidade a grande intensidade de radiação solar, e se são facilmente desfragmentados (tabela 04).

Ao luvisolo crômico foi atribuído o valor 3, por ser um solo que consegue se desenvolver melhor que os neossolos presente na região, absorver mais água e consegue drená-la melhor, no entanto é um solo que ainda possui certo grau de fragilidade. Ao neossolo litólico foi atribuído valor 5 por apresentar excesso de pedregosidade ser raso. Tornando o solo menos protegido que o luvisolo crômico e agravando sua fragilidade pela má drenagem e por ser um solo extremamente friável, quando não há a utilização do solo para cultivo ou pecuária é possível apontar cobertura vegetal relevante e é por isso que é interessante a aplicação do manejo correto para conservar essas áreas.

Tabela 4: Fragilidade para as classes de solo

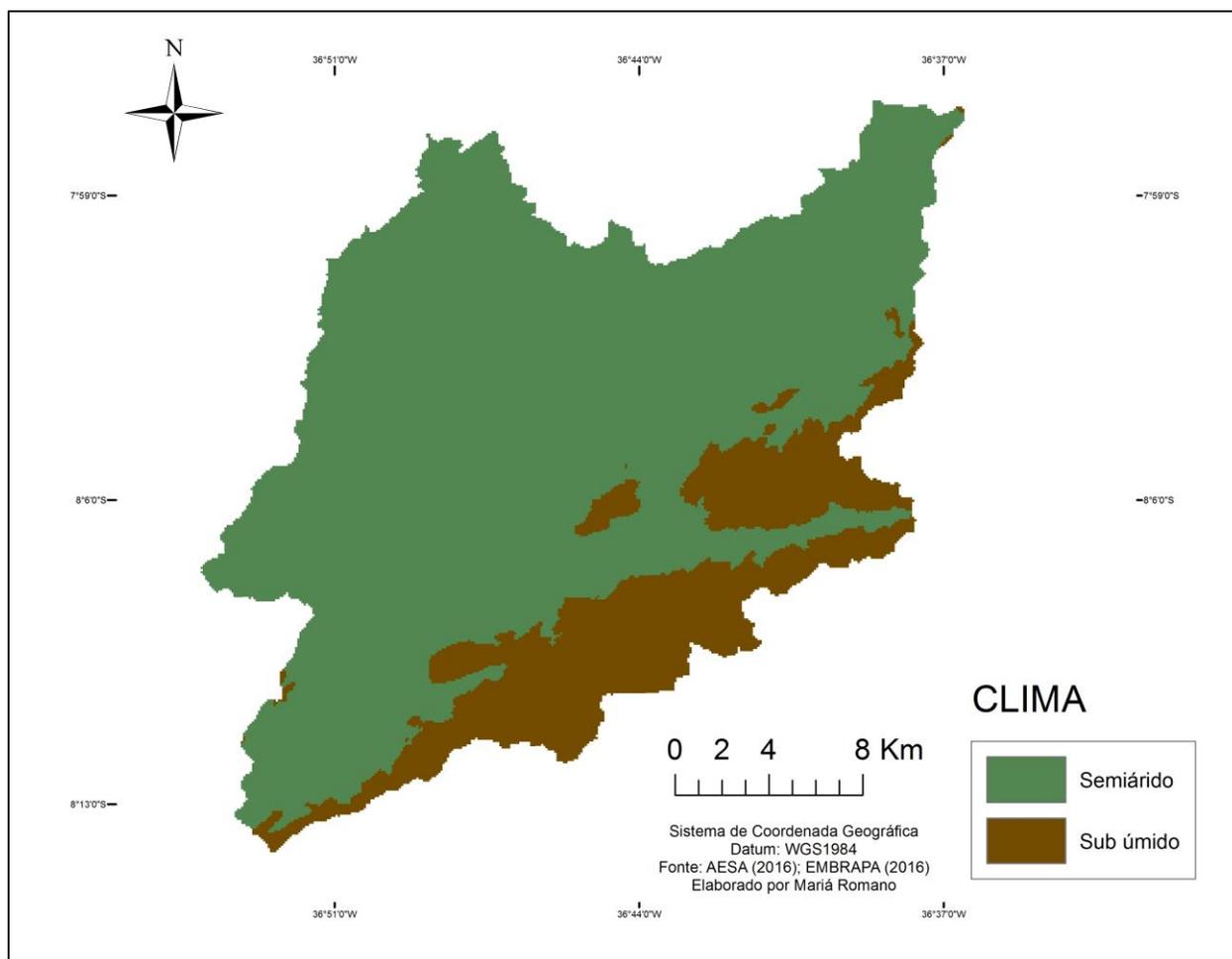
Solo	Fragilidade
Luvissolo Crômico	3
Neossolo Litólico	5

Neossolo Regolítico	4
----------------------------	---

Ao neossolo regolítico aplicou-se o valor 4, apesar de ter características semelhantes ao neossolo litólico, apresenta-se mais desenvolvido e mais espesso, por isso apresenta mais chances de ser cultivado em comparação ao solo litólico. Contudo, desfragmenta-se com facilidade ao ser alvo de distúrbio mecânico, o que o prejudica frente aos eventos de fluxo hortonianos comuns em certas épocas do ano, nos períodos de chuva intensa. Tanto os solos Luvisolos quanto neossolos estão suportados por rochas de litologia gnaiss e granito, péssimos condutores de água e não fornecem boa drenagem.

Os climas que estão presentes no território tigrense são o sub-úmido nas partes mais altas como mostra a figura a seguir, e o semiárido, que toma a maior parte de toda a área do município e por consequência da bacia de Jucurutu (figura 09). A diferença de altitude será o controlador da diferença climática, onde as áreas acima de 900 metros de altitude apresentam clima sub-úmido e aquelas abaixo de 900 metros clima semiárido; seguindo o que acontece em outros enclaves sub-úmidos (brejos de altitude) do nordeste seco (SOUZA, ALMEIDA E CORREIA, 2015). A diferença de um para o outro reside nas diferentes temperaturas e na precipitação, pois o clima sub-úmido apresenta maiores taxas de precipitação, e temperaturas mais amenas que as identificadas nas áreas mais baixas do terreno no clima semiárido. O clima semiárido se caracteriza pelos longos períodos de estiagem e poucos meses de chuvas, além dessas chuvas serem intensas e concentradas.

Figura 8: Climas da bacia do Riacho Jucurutu



Foi realizada a comparação de acordo com a altitude das áreas, sendo coletados os dados pluviométricos em um posto pluviométrico localizado na cidade de São João do Tigre, no noroeste da bacia, e em um posto pluviométrico na cidade de Poção/PE, a cerca de 10 Km da bacia, apresentando altitude superior a 900 metros (tabela 5). As precipitações pluviométricas de Poção superam a quantidade de chuvas em São João do Tigre em poucos milímetros, mas, no entanto, as médias da cidade pernambucana não caem de 20 mm, como é o caso da cidade de São João do Tigre (SJT) que apresentou média de 1 mm durante o período de estio do mês de setembro.

Tabela 5 Dados pluviométricos de São João do Tigre e Poção (PE) dos anos de 1999 a 2015

Médias	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Poção	65	92	136	101	68	91	78	40	23	23	22	40
SJT	60	60	78	73	55	40	15	5	1	15	8	41

A sede do município de São João do Tigre está a 557m de altitude acima do nível do mar, altitude relativamente baixa se comparada as Serras localizadas ao sul de seu território, Quaty, Serra do Paulo, Serra da Pintura. Nessas áreas, as temperaturas costumam cair, e as taxas de precipitação são perceptivelmente maiores, onde pode-se encontrar altitudes acima de 1000m de altitude.

Para que haja a comparação dos valores, foram coletados os valores da precipitação do município de Poção, onde podemos induzir os valores de precipitação das áreas mais altas de precipitação de clima sub-úmido da cidade de São João do Tigre, haja vista que Poção possui altitude acima de 900 metros e clima sub-úmido. Os dados foram coletados no site da AESA e APAC, durante o intervalo dos anos de 1999 até o ano de 2015 e ajudam a compreender como a morfologia pode transformar os impactos e os elementos climáticos (tabela 06).

Ao analisar a tabela pode-se perceber o posto de Poção sempre com as maiores taxas de precipitação, isso se deve a dinâmica de altitude que representa uma exceção dentro do clima semiárido e da caatinga, o relevo exerce a função de barreira e alcançará maiores altitudes, resfriando a atmosfera e propiciando formação de chuvas (LINS, 1989).

A fragilidade do clima da área foi atribuída a partir da distribuição de chuvas. O clima sub-úmido apresenta períodos de estiagem marcados entre 3 e 6 meses, com chuvas concentradas de novembro a abril. As chuvas do período de inverno são muito intensas e chegam a atingir 80% das chuvas anuais, o que provoca fortes enchentes e ocasiona fortes processos erosivos, por isso atribuímos nível 4 de fragilidade.

Tabela 6: Fragilidade para o clima

Clima	Fragilidade
-------	-------------

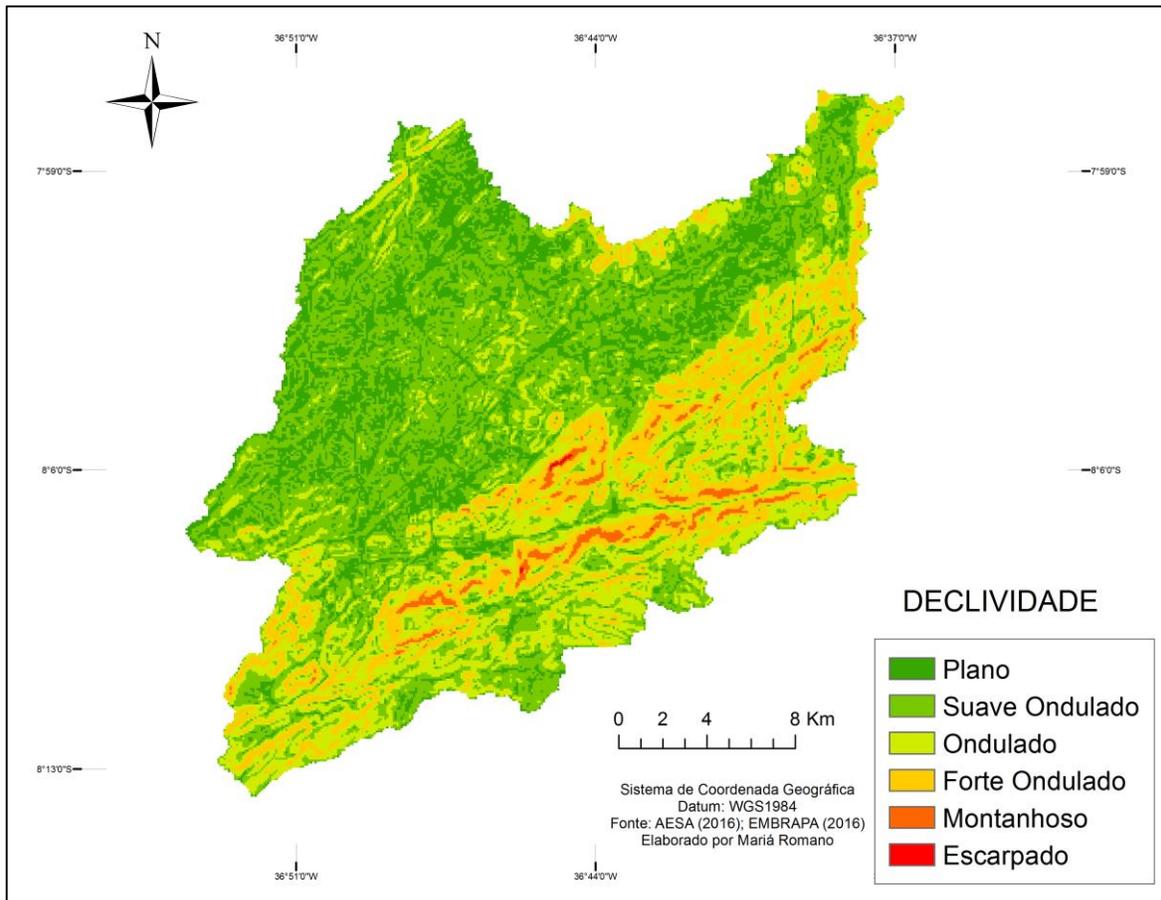
Sub-úmido	4
Semiárido	5

O clima semiárido possui outra vulnerabilidade, a extrema irregularidade de chuvas, além da baixa nebulosidade, são duas situações extremas que provocam desde uma seca intensa, que controla o comportamento caducifólio da vegetação, além de diminuir consideravelmente a cobertura herbácea. Tal situação agrava a possibilidade de enxurradas podendo provocar altos índices de erosão superficial, desse modo foi atribuído valor de fragilidade 5, por ser um clima que possui maiores valores de evapotranspiração e muita irregularidade de chuvas.

Por fim, a análise de fragilidade leva em consideração as características geomorfológicas e topográficas das áreas e no presente estudo foi utilizado a declividade das áreas. A escolha pela declividade deu-se por ser um dos elementos controladores da velocidade do escoamento superficial, conseqüentemente do processo erosivo. Dessa forma, a informação de declividade foi classificada como indicado pela EMBRAPA (2015)

De forma geral, a cidade de São João do Tigre está em uma área de relevo suave ondulado e ondulado em sua maioria, o que se refere a porção ocidental da área (figura 10). Na porção oriental, a declividade da área possui fortes ondulações, e áreas dissecadas, de declividade alta.

Figura 9: Declividade da bacia do Riacho Jucurutu



Quanto mais dissecado o relevo, maior será sua fragilidade, dessa forma nas áreas mais dissecadas, as atividades erosivas são mais intensas. Então paulatinamente com o relevo a fragilidade aumenta proporcionalmente, dessa forma os valores são delegados de 1 a 5 de acordo com a declividade do mais plano ao mais escarpado (tabela 10).

Figura 10 Tabela de fragilidade da declividade da Bacia do Riacho Jucurutu/Raposa

Relevo	Fragilidade
Plano e Suave Ondulado	1
Ondulado	2
Forte Ondulado	3
Montanhoso	4
Escarpado	5

Após a parametrização de todos os elementos foi possível realizar a álgebra de mapas para identificar o nível de fragilidade ambiental da bacia (figura 11). De forma geral, o nível de fragilidade encontrado foi entre 3,5 e 4 na maior parte da bacia. Este resultado aponta elementos naturais que proporcionam um nível de fragilidade alto, e atuam a favor do aumento do nível dessa fragilidade. Para facilitar a visualização das inter-relações existentes foi gerado também, uma coleção de mapas indicando os níveis de fragilidade de cada elemento (figura 12). Este resultado se explica devido ao fato de ter sido utilizado a média aritmética dos elementos, o que proporciona que as variáveis que possuem maior nível de fragilidade sejam suavizadas pelas outras variáveis de nível de fragilidade mais baixo.

Os elementos de clima, solo e uso são os que possuem níveis de fragilidade mais altos, demonstrando um ciclo que está ativo a muito tempo, e que vem se realimentando e se reproduzindo atualmente. O clima sustenta um sistema de drenagem que está ativo apenas por alguns períodos do ano, entretanto desenvolve-se muito mal. Em consequência disso ocorre a má drenagem e a pouca atividade no solo provocando o pouco desenvolvimento e resistência da comunidade vegetal, que por sua vez, não possui um porte suficientemente denso para fornecer a proteção necessária ao solo, ficando exposto a todas as intempéries e as reações adversas de chuvas concentradas e intensas nos poucos períodos chuvosos do ano.

É nesse ponto que a ação antrópica atua como elemento chave. O impacto antrópico gerado pelo intenso desmatamento e exploração do solo transformou a paisagem semiárida, e mantém a condição degradada da paisagem em estágio tão avançado. A caatinga sofreu cultivos intensamente degradantes como a cotonicultura, que até a década de 80 foi intensiva, além da demanda energética de lenha a partir dessa mesma década até o período dos anos 90, a pecuária caprina também entra como um desses impactos antrópicos intensivos devido aos cortes da vegetação e queimadas para o nascimento de novo pasto nos períodos chuvosos, e o comportamento alimentício dos caprinos (SOUZA, 2008).

Figura 11 Fragilidade Final da Bacia do Riacho Jucurutu/Raposa

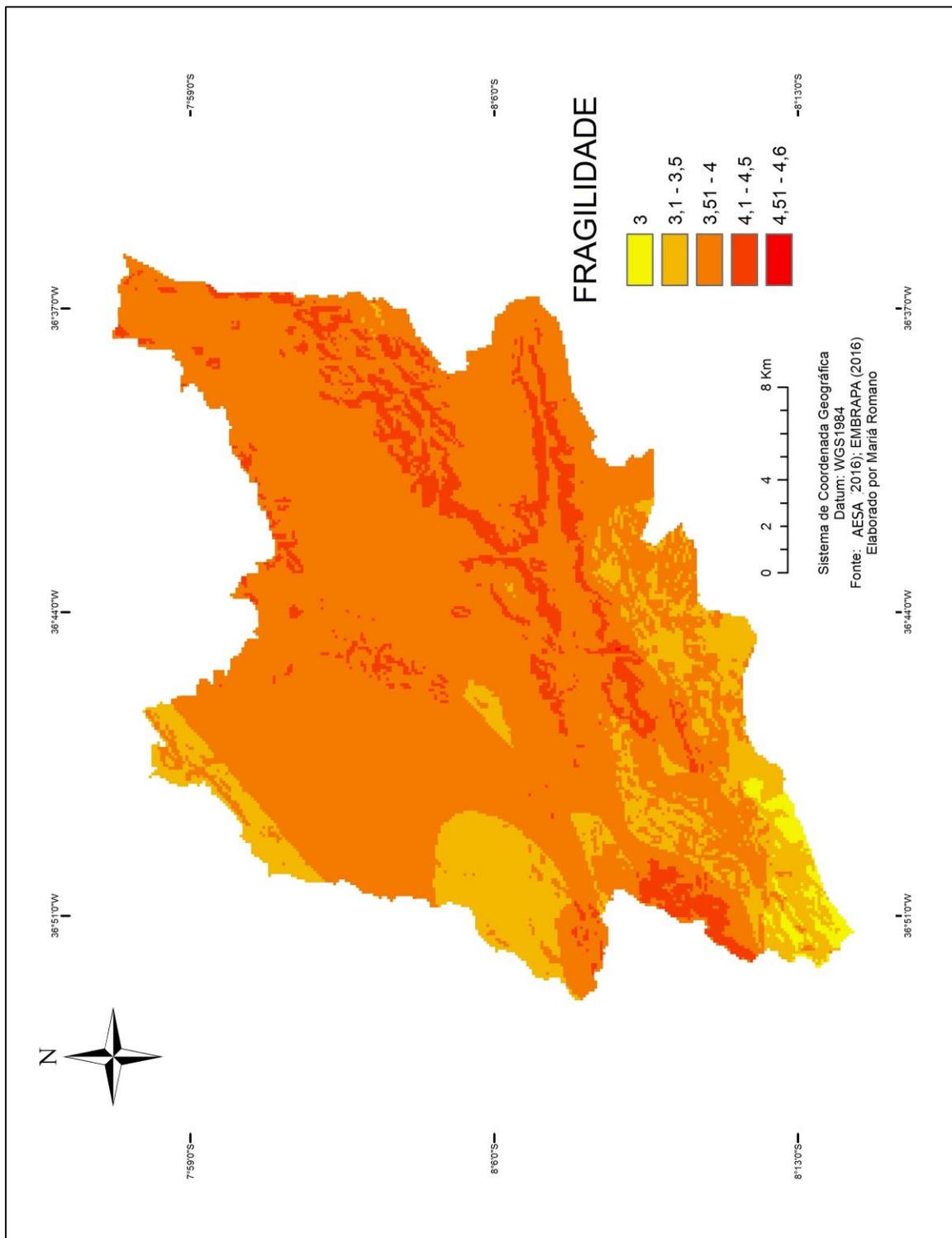
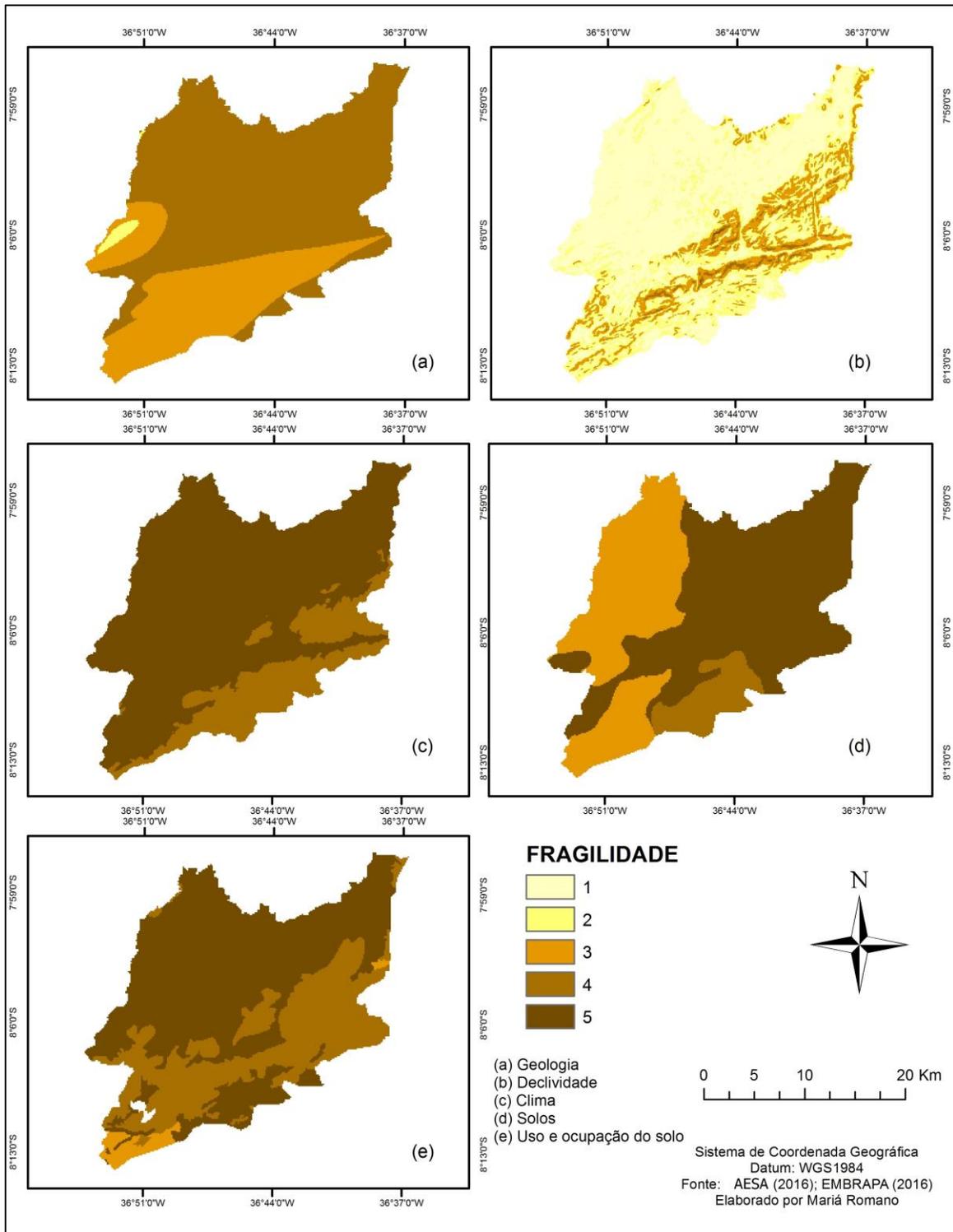


Figura 12 Coleção dos mapas de fragilidades de cada elemento fisiográficos da área da bacia.



Pode-se observar a presença de três níveis de fragilidade no mapa, o nível 3,51 – 4, que domina a área da bacia, desde a porção oriental plana, de caatinga

arbustiva arbórea aberta, uma área degradada com presença de grandes manchas de atividades antrópicas, até a porção oriental que apresenta a acentuada dissecação da Serra do Paulo e Quaty com nível de fragilidade mais elevado de 4,1 a 4,5.

A fragilidade mais intensa se concentrou na interseção entres os mais altos níveis de fragilidade, e alcançou nível 4,1-4,5 na porção sudoeste da bacia. O principal controle que influência o aumento da fragilidade são a alta declividade e o uso na área.

As áreas que foram estabelecidas nível de estabilidade mais baixo, possuem a presença da caatinga arbórea fechada, uma comunidade vegetal mais densa que apresenta poucas manchas de antropismo, além de ser continuada da parte inferior da área da bacia até a parte superior por caatinga arbustiva arbórea fechada, também com poucas manchas de atividade antrópica. Nessas áreas, mesmo com a presença de relevo de altitude, as médias de fragilidade se apresentaram baixas justamente pela questão da cobertura vegetal, que funciona como elemento protetor para o agente passivo de erosão declividade.

Além do uso e ocupação do solo, as atividades climáticas e o comportamento da chuva são determinantes nos valores finais do mapa produto da fragilidade, por isso os níveis de fragilidade são tão intensos na porção oriental da área da bacia, pois as chuvas são mais intensas nas altas altitudes, justamente onde o relevo se mostra mais declivoso e dissecado, tornando está a área mais frágil da bacia com estes dois elementos em conjunto, no entanto, na área mais baixa da bacia, a falta de regularidade e as poucas chuvas corroboram para a involução dos solos e a pouca perseverança das comunidade vegetal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho analisou a fragilidade da área da bacia do Riacho Jucurutu/Raposa tanto da perspectiva natural, quando trabalhando a perspectiva antrópica, e para isso se utiliza da metodologia de Ross (1994) adaptada às especificidades da área, que possui fortes elementos regionais necessários a consideração da avaliação. A parametrização detalhada dos elementos característicos do nordeste seco, mostrou-se primordial para o entendimento coerente da paisagem semiárida. É importante ressaltar que a maior parte das metodologias de análise ambiental são criadas tendo como base ambientes úmidos, e muitas vezes são transpostas para o ambiente seco sem uma adaptação detalhada.

É um estudo pautado na geomorfologia ambiental que parte do princípio de que os recursos naturais devem ser utilizados pelo homem a partir de um regime conservacionista (ROSS, 1994). A presente análise subsidia a otimização de uso da área, contribui com a gestão territorial a partir de uma gama de informações que previnem a ocupação e o uso desordenado do território. A análise das fragilidades é o principal subsídio necessário para a construção de planos de manejo e gestão do território afim de evitar ocupações e usos desordenados que superam as capacidades da área.

Conclui-se que a área de estudo possui níveis de fragilidade relativamente altos considerando o estágio de uso, e que o principal elemento para a conservação da área é a cobertura vegetal, ou seja, proteção do solo e melhor interceptação da água, melhorando a drenagem e diminuindo a ação dos processos erosivos. A criação semiextensiva dos caprinos também é fator definitivo para a degeneração do solo, no entanto o replantio de espécimes arbóreas e o controle do pastoreio traz bons resultados para a conservação.

A carta de uso do solo se mostrou de extrema importância para um apanhado geral de nível de fragilidade, pois se trata de um elemento que é definitivo para constatar a estabilidade ou não da área. A partir daí, podemos concluir a

instabilidade da área de acordo com sua cobertura degradada e alta atividade de processos erosivos corroboradas pela inserção de atividades humanas.

REFERENCIAS

AB'SABER, A. N. **Os Domínios de natureza do Brasil**. 4. ed. São Paulo: Atêlie Editorial, 2003, 158p.

ACSELRAD, H. Vulnerabilidade ambiental, processos e relações. In: encontro nacional de produtores e usuários de informações sociais, econômicas e territoriais, 2., 2006, Rio de Janeiro. **Comunicação**. Rio de Janeiro: Fibge, 2006.

AESA. Agência Executiva e de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado da Paraíba. 2015. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. Acesso em: 9 novembro 2015.

ALBUQUERQUE, S.G.; SOARES, J.G.G.; GUIMARÃES FILHO, C.; OLIVEIRA, M.C. **Dinâmica do Estrato Herbáceo de uma vegetação de caatinga do Sertão pernambucano, sob intensidade de uso por caprinos**. Petrolina: Embrapa, 2004. Disponível em www.cpatsa.embrapa.br

ARAÚJO, F.S.; SAMPAIO, E.V.S.B.; RODAL, M.J.N. & FIGUEIREDO, M.A. 1998a. Organização comunitária do componente lenhoso de três áreas de carrasco em Novo Oriente, CE. **Revista Brasileira de Biologia** 58: 85-95.

ARAÚJO, J. F. V. et al. Manual técnico de geologia. Rio de Janeiro (Brasil). IBGE, **Série Manuais técnicos em geociências**, 306pp. II, 1998.

ALCOFORADO FILHO, F.G.A.; SAMPAIO, E.V.S.B. & RODAL, M.J.N. 2003. Florística e fitossociologia de um remanescente de vegetação caducifólia espinhosa arbórea em Caruaru, Pernambuco. **Acta Botanica Brasilica** 17: 287-303.

AMORIM, R. R. Um novo olhar na geografia para os conceitos e aplicações de geossistemas, sistemas antrópicos e sistemas ambientais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 31, n. 41, p.80-101, mar. 2012.

BRASILINO, R. G; MIRANDA, A. W. A.; MEDEIROS, V. C. Reavaliação litoestratigráfica do Complexo Vertentes entre as cidades de vertentes e Santa Cruz do Capibaribe (PE). **Repositório Institucional de Geociências**, Curitiba, 2008

BATISTA, J. P. G; SILVA, F. M. Avaliação da fragilidade ambiental na microbacia do riacho cajazeiras no semiárido potiguar. **Goia**, Goiania, v. 33, n. 1, p.53-72, abr. 2013.

CASSETI, V.; **Geomorfologia e paisagem**. 2005. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 15 jan. 2016

CHIAVENATO, I. **Teoria Geral da administração**. 6.ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001, v.2

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1999. 236 p.

CHORLEY, R. J. **Water, Earth and Man**. London: Barnes & Noble, 1969. 587 p.

CORRÊA, A. C. B.; SOUZA, J. O. P.; CAVALCANTI, L. C. S. Solos do ambiente semi-árido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica. [S.l.]: [s.n.], em prelo.

CPRM. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de São João do Tigre, Estado da Paraíba. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005

CREPANI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. INPE-8454-RPQ/722, 2001.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. de P.; SUGAMOSTO, M. L. **Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 1, p. 175– 181, 2006.

FERREIRA, B. A região semi-árida nordestina: utilização dos dados SRTM para mapeamento geomorfológico de parte dos municípios de Jatobá Petrolândia e Tacaratu, Sub-Médio São Francisco, PE. **Ciência e Natura**, Mato Grosso, v. 31, n. 1, p.143-158, jan. 2010.

GOMES, F. S. **Estudo da erodibilidade e parametros geotecnicos de um solo em processo erosivo**. 2001. 195 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001. Cap. 6.

GUERRA, A. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e Conservação dos solos**: Conceitos, temas e aplicações. 8. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 339 p.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Org.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. 317 p.

KAWAKUBO, F. S. et al. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 2005, Goiânia. **XII SBSR**. Goiânia: Inpe, 2005. p. 2203 - 2210.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2010. 216 p

LINS, R.C. 1989. **As áreas de exceção do agreste de Pernambuco**. SUDENE/PSU/SER. Série Estudos Regionais. Recife. 402p

LIZ, J. D. de et al. Petrologia e sucessão estratigráfica das rochas monzoníticas da associação shoshonítica de Lavras do Sul (RS). **Revista Brasileira de Geociências**, Porto Alegre, v. 39, n. 2, p.244-245, jun. 2009.

MARQUES NETO, R. Considerações sobre a paisagem enquanto recurso metodológico para a geografia física. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 9, n. 26, p.243-255, jun. 2008

MATTOS, S. H. V. L. ; PEREZ FILHO, A.. Complexidade e Estabilidade em Sistemas Geomorfológicos: uma introdução ao tema. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 5, n. 1, p.11-18, jan. 2004.

NETTO, A. L. C.. Evolução de Cabeceiras de Drenagem no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a Formação e o Crescimento da Rede de Canais sob Controle Estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 4, n. 2, p.69-100, 2003.

PARSONS, A. J.. A technique for the classification of hill-slope forms. **Wiley**, New South Wales, v. 3, n. 4, p.1-1, abr. 2013.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ibge, 1983. 185 p.

PETLEY, D.J. (1984). **Ground investigation, sampling and testing for studies of slope instability**. In: BRUNSDEN, D. e PRIOR, D. (orgs). Slope instability. Salisbury, John Wiley and Sons Ltd., p. 67-101.

SOUZA, B. I. **Cariri Paraibano: Do silêncio do lugar à desertificação**. 2008. 194 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Cap. 5.

SCHIRMER, G. J.; ROBAINA, L. E. S. Zoneamento geoambiental em municípios do rio grande do sul: município de agudo. **Geociências**, São Paulo, v. 31, n. 1, p.93-102, jan. 2012.

TAGLIANI, C. R. A. Técnica para avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de ambientes costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informações. In:

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 11., 2003, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: INPE, 2003, p. 1657 – 1664

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Supren, 1977. 91 p. (I).

TRICART, J. **Principes et méthodes de l geomorphologie**. Paris: Masson Ed. , 1965, 201p.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: . Acesso em: 22 out. 2013.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia - USP**, v. 8, p. 63–74, 1994.

SANTOS, E. J.; NUTMAN, A. P.; BRITO NEVES, B. B. Idades SHRIMP U-Pb do Complexo Sertânia: implicações sobre a evolução tectônica da Zona Transversal, Província Borborema. **Geologia USP: Série Científica**, São Paulo, v. 4, p. 1-12, 2004.

SILVA, L. G.; SANTOS, A. M.; SILVA, H. A.; GALVÍNCIO, J. D. Diagnóstico da fragilidade ambiental do Alto curso da bacia hidrográfica do rio Pajeú – PE. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 15. (SBSR).., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 7611-7619.

SOUZA, J. O. P.; ALMEIDA, J.D. M.; CORREA, A. C. B. Caracterização e espacialização da precipitação em bacia hidrográfica com relevo complexo: sertão central pernambucano – bacia do riacho do saco. **Revista de Geografia (ufpe)**, Recife, v. 32, n. 2, p.106-126, jan. 2015.

SPÖRL, Christiane. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. 2007. 183 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SUDEMA. **Zoneamento Ecológico-econômico da Microrregião do cariri ocidental – Paraíba Vulnerabilidade ambiental**. 2005.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. Abordagem sistêmica e geografia. **Geografia**, Rio Claro, v. 23, n. 3, p.323-344, dez. 2003.

VITTE, A C. & SANTOS, I. dos. Proposta Metodológica para Determinação de "Unidades de Conservação" a partir do Conceito de Fragilidade Ambiental. "**Revista Paranaense de Geografia**", n. 4, p.60-69, 1999.

TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M. de; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.) **Decifrando a Terra**. São Paulo: Companhia Editora NAcional, 2009, 2ed.

