

**MODELAGEM MATEMÁTICO-ESPACIAL NA IDENTIFICAÇÃO  
DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS DA MICROBACIA DO RIO  
JARUCU, MUNICÍPIO DE BRASIL NOVO – PA**

**IDENTIFICATION OF ENVIRONMENTAL FRAGILITIES IN THE  
MICROBACY OF JARUCU RIVER, MUNICIPALITY OF BRAZIL NOVO – PA**

**IDENTIFICATION DES FAIBLESSES DANS L'ENVIRONNEMENT JARUCU  
RIVIÈRE, BRESIL NEW COUNTY – PA**

**Alan Nunes Araújo**

Doutorando em Geografia pela Universidade Federal do Pará – UFPA. Professor da Faculdade de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Pará – UFPA.

[alannunesaraujo@gmail.com](mailto:alannunesaraujo@gmail.com)

**Wanessa Pinheiro Prates**

Engenheira Florestal pela Universidade Federal do Pará – UFPA/Câmpus de Altamira.

[wanessa-wp@hotmail.com](mailto:wanessa-wp@hotmail.com)

**Recebido para avaliação em 22/08/2017; Aceito para publicação em 07/11/2017.**

**RESUMO**

O objetivo deste trabalho é avaliar a fragilidade ambiental da microbacia Hidrográfica do rio Jarucu, localizada no município de Brasil Novo, no Pará, a partir de uma visão sistêmica, oriunda de modelagens matemático-espaciais, para melhor análise da gestão de seus recursos naturais. Para a sua realização, utilizou-se a metodologia de álgebra de mapas proposta por Ross (1994), por intermédio da sobreposição de camadas, atribuindo-se a elas, notas e pesos, utilizando-se, como plataforma, o software ArcGIS 10.1, gerando mapa síntese a partir de multicritérios. Para esse fim, foram utilizados mapas de declividades, solos, proximidade de drenagens e nascentes, além do uso e cobertura do solo, mediante classificação orientada a objeto, utilizando-se o software eCognition 9.01, bem como cenas do sensor RapidEye, disponível no site do Ministério do Meio Ambiente (resolução espacial de 5 metros). Os resultados demonstram que a bacia apresenta fragilidade entre baixa e média, devido a índices moderados de declividade e solos estáveis quando se tem a presença da vegetação. As regiões com fragilidade localizam-se nas Áreas de Preservação Permanente de Cursos d'água, devido à declividade acentuada nesses pontos e à falta de cobertura vegetal, gerada pela substituição de áreas de floresta por pastagens, muitas destas degradadas, um padrão comum no processo de ocupação da região da Transamazônica, acarretando, em se tratando de uma bacia hidrográfica, um processo de lixiviação e assoreamento dos cursos d'água, mesmo que ainda incipiente.

**Palavras-chave:** Fragilidade Ambiental; Modelagens Espaciais; Rio Jarucu, Brasil Novo.

**ABSTRACT**

The objective of this work was to evaluate the environmental fragility of the hydrographic microbasin Of the Jarucu River located in the municipality of Brasil Novo in Pará from a systemic view derived from mathematical-spatial modeling, to better analyze the management of its natural resources. In order to achieve it, it was used the methodology of map algebra proposed by Ross (1994) by overlapping layers and assigning them grades and weights, using as Platform ArcGIS 10.1 software, generating synthesis map from multicriteria. To this end, besides the ground cover

through object-oriented classification using the eCoguinition software 9.01 and scenes of the RapidEye sensor available on the Ministry of Environment website (resolution Space of 5 meters), Maps of Slopes, Soils, proximity to drains and springs were used. The results showed that the basin presents its fragility between low and avarsge due to moderate rates of slope and stable soils when there is vegetation. The regions where they showed the greatest fragility are located in the Permanent Preservation water course areas due to the marked slope in these points and the lack of vegetation coverage, generated by the replacement of forest areas by pastures, many of these degraded, what is a common pattern in the process of occupation of the Transamazonica region, leading to, when it comes to a river basin, a process of leaching and sedimentation of watercourses, even if still incipient.

**Keywords:** Environmental Fragility; Spatial Modeling; Jarucu River, Brasil Novo.

### RÉSUMÉ

**Résumé:** L'objectif de ce travail était d'évaluer la fragilité environnementale de la micro-puce hydrographique de la rivière Jarucu située dans la municipalité de Brasil Novo à Pará à partir d'une vue systémique dérivée de la modélisation mathématique et spatiale afin de mieux analyser la gestion de ses ressources naturelles. Pour sa réalisation, la méthodologie de l'algèbre de carte proposée par Ross (1994) à travers le chevauchement des couches et leur attribuant des notes et des poids, en utilisant comme plate-forme le logiciel ArcGIS 10.1, générant une carte de synthèse multicritère. À cette fin, des cartes des pentes, des sols, de la proximité du drainage et des sources ont été utilisées, ainsi que l'utilisation et la couverture des terres grâce à une classification orientée objet à l'aide du logiciel eCoguinition 9.01 et des scènes du capteur RapidEye disponibles sur le site Web du ministère de l'Environnement Espace de 5 mètres). Les résultats ont montré que le bassin présente une fragilité entre le bas et le moyen, en raison des indices modérés de pente et des sols stables lorsque la végétation est présente. Les régions où elles sont les plus fragiles sont situées dans les zones de conservation permanentes des cours d'eau en raison de la pente marquée de ces points et de l'absence de couverture végétale générée par le remplacement des zones forestières par les pâturages, dont beaucoup sont dégradés, un modèle commun dans le processus de Occupation de la région de Transamazonica, conduisant à un processus de lixiviation et de sédimentation des cours d'eau, même si elle était encore incipiente.

**Mots-clés:** Fragilité de L'environnement; L'espace de Modélisation; Rivière Jarucu, Brésil Nouveau.

---

## INTRODUÇÃO

A metodologia da fragilidade empírica proposta por Ross (1994) foi desenvolvida com base nas concepções de Ecodinâmica e Ecossistemas, definidas por Tricart (1977), e consiste no princípio de que a natureza apresenta funcionalidade intrínseca entre seus componentes físicos e bióticos (AMARAL; ROSS, 2009). Para esse fim, são necessários primeiramente o levantamento de informações quanto ao relevo, solo, geologia, clima, uso da terra e cobertura vegetal. Na etapa seguinte, os planos de informações listados são tratados em ambiente geotecnológico, para que sejam correlacionadas e, ao final, gerado um modelo matemático-espacial que represente os diferentes graus de fragilidade, que o ambiente possui em função de suas características genéticas.

Na perspectiva da teoria dos sistemas, todas as trocas de energia se relacionam mediante um equilíbrio interativo, porém, as ações humanas tendem a desestabilizar este

ambiente, podendo ter consequências transitivas ou permanentes, ocasionando alterações com complexo grau de reversão para o seu estado original ou similar, de acordo com (ROSS, 1994; TRICART, 1977; SILVEIRA et al., 2005).

A partir dessa visão dinâmica do meio ambiente, Tricart (1977) propõe uma classificação, de acordo com suas características de estabilidade e a relação morfogênese-pedogênese, em três grandes tipos: meios estáveis, meios integrados e meios instáveis.

Os meios estáveis caracterizam-se por uma evolução lenta e constante, ocorrendo em áreas com cobertura vegetal preservada, havendo dissecação moderada do relevo.

Já nos meios instáveis, a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica natural, sendo o fator determinante ao qual os outros elementos do sistema estão subordinados.

Por seu turno, os meios integrados representam uma passagem gradual entre os meios estáveis e os meios instáveis. Nesse meio a morfodinâmica pode acelerar, a ponto de superar a pedogênese, se tornando instável (SANTOS; OLIVEIRA, 2013, p. 7).

Neste contexto, a bacia hidrográfica, considerada uma unidade de manejo ambiental, apresenta características intrínsecas, como relevo, tipo de solo e geologia que, em conjunto, convertem-se em um atributo denominado “vulnerabilidade natural”.

Inserindo-se nessa unidade a ação humana, ou seja, introduzindo-se fatores externos, de ocorrência não natural, é possível avaliar o nível de degradação resultante da ação antrópica. Surge assim, a possibilidade de aplicação de estudos de fragilidade ambiental em bacias hidrográficas, constituindo-se numa importante ferramenta no planejamento ambiental estratégico (GONÇALVES et al., 2011, p. 798).

O planejamento em bacias hidrográficas pode minimizar ou mesmo evitar a ocorrência de impactos ambientais decorrentes de práticas antrópicas, visando a orientar a ocupação humana, para que sejam resguardadas as áreas destinadas à preservação ambiental, tendo em vista a conservação dos recursos naturais, a forte instabilidade, fragilidade ambiental ou a alta suscetibilidade à erosão e aos movimentos de massa que algumas localidades podem apresentar (GUERRA; CUNHA, 1998, p. 115).

A relação entre meio ambiente, bacias hidrográficas e suas fragilidades, ganharam auxílio com a utilização das Geotecnologias, que permitem, a partir das técnicas de modelagem espacial, reproduzir matematicamente e graficamente fenômenos espaciais até então complexos de serem identificados. Segundo Bassanezi (2002, p. 16), a Modelagem Matemático-espacial consiste na arte de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los, interpretando suas soluções na linguagem do mundo real.

O município de Brasil Novo, localizado no Sudoeste Paraense, originou-se com a abertura da rodovia Transamazônica (BR 230), integrando-se ao processo de ocupação do território amazônico a partir da década de 1970. As atividades agrícolas e a pecuária extensiva destacam-se como as principais atividades econômicas e, conseqüentemente, tornaram-se as maiores responsáveis pela remoção da vegetação natural (CARPANEDO; PENA; SOUZA, 2014, p. 258).

A Bacia do Rio Jarucu, localizado em Brasil Novo, não apresenta cenário diferente do restante do município, entretanto, figura-se atualmente como importante manancial hídrico local, seja subsidiando a pecuária e áreas de cultivo inseridas na bacia, seja para captação de suas águas e abastecimento da respectiva cidade, área de interesse público municipal. Contudo, o crescimento populacional e, por conseguinte, o aumento de demanda, influencia e também é influenciada por um processo de fragilidade ambiental, caso esta bacia não seja manejada de maneira correta.

Desta forma, aqui se propõe a identificação de fragilidades na microbacia do rio Jarucu localizado no município de Brasil Novo, Pará, a partir de uma visão sistêmica oriunda de modelagens matemático-espaciais, auxiliando em uma melhor gestão de seus recursos naturais.

## **HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DO MUNICÍPIO DE BRASIL NOVO**

O município de Brasil Novo tem sua origem com o Programa de Integração Nacional (PIN), que iniciou em 1970, no governo militar. O propósito era desenvolver e implantar um programa de colonização e reforma agrária na Amazônia. Entre esses projetos, previa-se a instalação de diversas Agrópolis, que seriam bases de apoio para atender às necessidades das famílias que viviam nas Agrovilas, e que, portanto, se localizavam ao longo da rodovia Transamazônica. Brasil Novo era uma dessas Agrópolis, que se localizava no Km 46, no percurso de Brasil Novo para Itaituba (IBGE, 2010).

A criação do município ocorreu por meio da Lei Estadual nº 5.692, de 13 de dezembro de 1991 (IBGE, 2010).

Por seu histórico de ocupação ter ocorrido de forma extensiva, um dos maiores setores econômicos do município é constituído pela agropecuária, sendo a atividade econômica de maior relevância para o município, segundo o IBGE (2010). Porém, essa atividade tende a reduzir a cobertura vegetal para a criação de novas pastagens, afetando diretamente as florestas e Áreas de Preservação Permanente (APP's), principalmente as de

curso d'água, interferindo negativamente na qualidade e quantidade do potencial hídrico da bacia como um todo.

## GESTÃO TERRITORIAL E BACIAS HIDROGRÁFICAS

O território corresponde a uma delimitação geográfica, política e cultural de um determinado espaço e região, no qual os recursos naturais possuem um papel fundamental na sua criação. A formação de muitas cidades se dá pela proximidade aos recursos hídricos como base para as suas atividades essenciais, tendo em vista que estes recursos também correspondem a um relevante fator de gestão (PORTO & PORTO, 2008, p. 45).

A gestão territorial de uma bacia hidrográfica com base em seus atributos ambientais forma o melhor método para prevenir a degradação de seus recursos hídricos (MOTA, 1995, p. 18). As bacias hidrográficas são importantes unidades gestoras do território e onde se desenvolvem inúmeras atividades humanas por possibilitar ambiente fértil, propício e integrador entre ambiente e sociedade, tendo em vista que a maneira com que estes espaços são utilizados irá influenciar nas variadas formas de ocupação do homem no território e na utilização dessas águas.

As maiores concentrações das atividades humanas situam-se nas margens dos rios como as áreas urbanas e agrícolas. Planejar a utilização desses recursos é uma importante ferramenta de gestão (RODRIGUES et al., 2009, p. 1587). A este respeito Leal (2012, p. 69) menciona que:

O planejamento de recursos hídricos constitui um instrumento fundamental para o gerenciamento da água e da bacia hidrográfica, uma vez que pode induzir ou restringir o uso e ocupação do solo e a implantação de planos de desenvolvimento econômico em sua área de abrangência, pelo disciplinamento e controle do acesso e uso da água. Nesse sentido, gerenciar águas e bacias hidrográficas exige que se considerem diversos processos naturais e sociais interligados, com abordagem holística e sistêmica, visando compatibilizar o uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas com a garantia de disponibilidade de água para a sustentabilidade do desenvolvimento econômico, social e ambiental.

A criação da Política Nacional dos Recursos Hídricos pela Lei Federal 9.433/97 (Lei das Águas) representou um grande avanço para a gestão ambiental dos recursos hídricos no Brasil, sendo um instrumento para gestão da ocupação do solo para a proteção e planejamento e uso destes recursos (PERES, 2010, p. 36).

É imprescindível se ter o entendimento das suas características de formação e constituição, principalmente pela ocorrência de tais recursos estarem intimamente



relacionados aos impactos ambientais, atributo este de maior desafio na atualidade se considerados os aspectos ambientais e humanos.

### **Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade**

No Geossistema, a bacia hidrográfica se configura como um sistema aberto, sofrendo interferências “inputs” tanto de processos endógenos quanto exógenos, e a relação destes somadas as características específicas da bacia, resultarão em fluxos de matéria e energia “outputs” que irão variar, com uma maior ou menor intensidade, de acordo com alterações naturais deste processo. A presença humana nestes espaços, pode também potencializar e desestabilizar este sistema, e são justamente estas rupturas que ocasionará as fragilidades.

O rompimento do estado de equilíbrio de um sistema gera pontos frágeis dentro do mesmo. Todas as alterações realizadas que não respeitem os pontos frágeis do mecanismo acarretarão em fragilizações no sistema natural e em múltiplas vulnerabilidades que alterarão a paisagem natural, ocasionando assim uma vulnerabilidade no sistema (ROSS, 1994, p. 64).

Fragilidades são alterações dos ecossistemas, por meio de interferências ou perturbações naturais e/ou antrópicas, que podem derivar de diferentes fatores (GIMENES; AUGUSTO FILHO, 2013, p. 11). É preciso se ter um olhar muito mais profundo em relação aos recursos naturais que temos em abundância e não se restringir somente aos seus potenciais econômicos, mas também às vulnerabilidades dos ambientes naturais diante das intensas explorações que o homem faz com estes recursos (ROSS, 1994, p. 65).

Segundo Franco, Hernandez e Moraes (2012, p. 115, p. 3370), “as bacias hidrográficas fazem parte de um complexo sistema ambiental em que os cursos d’água servem como indicadores da manipulação do solo pelo homem”. A identificação da fragilidade ambiental constitui uma importante ferramenta para o Estado, associado ao zoneamento e planejamento territorial, possuindo uma versatilidade para ser aplicada tanto em pequenas como grandes propriedades, podendo assim ponderar tanto o seu potencial de uso como as suas limitações ambientais (KAWAKUBO et al., 2005, p. 2206).

Deste modo, as bacias conferem um excelente campo para estudos de fragilidade ambiental, uma vez que seu estado de equilíbrio é capaz de ser facilmente modificado, com consequências que podem ser irreversíveis e refletirão na qualidade da água, dada a sua sensibilidade aos impactos” (FRANCO et al., 2013, p. 115).

## Geotecnologias e modelos matemático-espaciais

O uso das geotecnologias está cada vez mais difundido e frequentemente vem ganhando espaço no contexto ambiental, pois se apresenta como eficiente ferramenta que auxilia a gestão territorial e avaliação da característica da paisagem. A eficiência em que o Sistema de Informações Geográficas (SIGs) possui para o processamento de informações complexas promove uma interação de dados de natureza diferentes e detalhada (OLIVEIRA et al., 2008, p. 91).

A utilização das geotecnologias permite também a elaboração de diagnósticos e prognósticos relacionados às problemáticas ambientais, podendo inclusive preveni-las. Do mesmo modo, direciona as melhores áreas para o uso, restringindo, assim a utilização de ambientes frágeis e sensíveis a intervenções antrópicas (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016, p. 12).

Ressalta-se aqui a utilização do Sensoriamento Remoto, que possibilita o mapeamento da cobertura vegetal, mediante a análise de imagens orbitais, nas quais se identifica a qualidade da vegetação e se monitoram todos os processos de alteração da mesma. Neste sentido, “o sensoriamento remoto é uma das técnicas que possibilitam o estudo e a caracterização da dinâmica do uso e da ocupação da terra” (SILVA et al., 2014, p. 278).

Além disso, o uso da modelagem ambiental para a identificação de características pontuais da paisagem facilita o reconhecimento de processos naturais para fins de análises ambientais como ferramenta de gestão, com o uso das geotecnologias que se constitui em uma ferramenta com alto poder de processamento dos dados (MINELLA; MERTEN, 2012, p. 1579). Neste contexto, os planos de informações apresentam variadas vertentes e diferentes fontes de dados em proporções e escalas distintas, ocasionando assim várias possibilidades de resultados (MOURA, 2007, p. 2900).

A combinação e interligação desses dados se faz necessária para análises mais detalhadas e que abrangem vários fatores. A este respeito, Moura (2007, p. 2901) menciona que “a Análise de Multicritérios é um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis amplamente aceito nas análises espaciais”. Neste aspecto mapear a fragilidade ambiental permite definir áreas mais frágeis e que merecem maior atenção, pois sua má utilização pode resultar no comprometimento de todo sistema (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016, p. 2).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

O município de Brasil Novo localiza-se no Sudoeste Paraense, entre as coordenadas de Latitude  $3^{\circ}17' 56''$  S e Longitude  $52^{\circ} 34' 12''$  W e margeia a rodovia Transamazônica (BR 230). O município possui uma população de 15.690 habitantes, com uma área territorial de 6.362,575 km<sup>2</sup>, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Limita-se ao Norte com o município de Porto de Moz, ao Sul e a Leste com o município de Altamira e a Oeste com o município de Medicilândia. Por sua vez, a Bacia Hidrográfica do rio Jarucu (figura 1), objeto desta pesquisa, é afluente do rio Xingu, situa-se na porção norte de Brasil Novo, possuindo uma área de 172 km<sup>2</sup>.

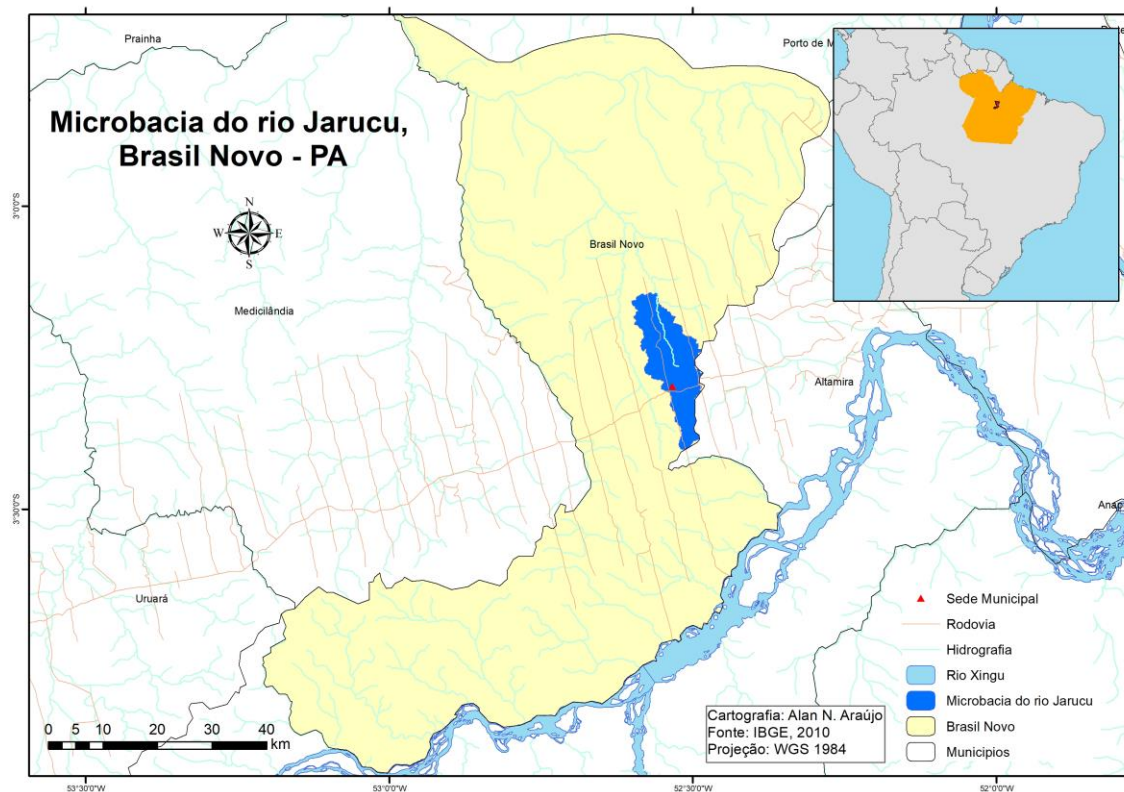


Figura 1 – Localização da Microbacia do rio Jarucu - PA  
Fonte: IBGE, 2017.

Para a elaboração deste trabalho, primeiramente foi levantado o referencial teórico, relativamente ao tema tratado, para fins de embasamento científico.



## Tratamento da Informação Espacial

A base de dados vetoriais (drenagem, delimitação da área da bacia e das curvas de nível e proximidade de drenagem) e o mapa hipsométrico foram elaborados e modelados virtualmente no software ArcGIS, a partir de imagens de Radar Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), obtidas no site Earth Explore USGS, com escala de 1:50.000 e 1:100.000, respectivamente.

A etapa posterior consistiu na elaboração dos mapas de solos disponíveis no site do Ministério do Meio Ambiente MMA, mais especificamente no zoneamento ecológico-econômico da BR- 163.

A carta de fragilidade é o resultado da relação matemático-espacial dos mapas temáticos: carta geomorfológica, mapa hipsométrico, carta de uso da terra/cobertura vegetal. A metodologia de elaboração do mapa de fragilidade seguiu a proposta de Ross (1994).

A fragilidade ambiental do mapa de declividade foi estimada a partir de intervalos reconhecidos, lastreados nos estudos de capacidade de uso do solo (Tabela1), que consideram a intensidade dos processos erosivos deste. Para o arranjo das classes de declividade do solo foi definido uma variação intervalar de muito fraca a muito forte, de acordo com o seu grau de proteção (ROSS, 1994).

Tabela 1 – Classe de Fragilidade da Declividade

<b>Classe de Fragilidade</b>	<b>Declividade (%)</b>	<b>Peso</b>
<b>Muito Fraca</b>	0-6 %	1
<b>Fraca</b>	6-12 %	2
<b>Média</b>	12-20 %	3
<b>Forte</b>	20 a 30 %	4
<b>Muito Forte</b>	Acima de 30%	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

A fragilidade ou erodibilidade dos tipos de solos poderão ser qualificadas nas classes de muito fraca a muito forte, levando em consideração uma série de fatores como as características de textura, estrutura, plasticidade, grau de coesão das partículas, profundidade/espessura, além de características como relevo, litologia, clima, dentre outros fatores (ROSS, 1994, p. 63).

O valor de fragilidade mais baixo dos tipos de solos (tabela 2) foi atribuído para áreas onde ocorrem Latossolos, ou seja, solos maduros, com boas propriedades físicas, químicas e que são profundos se caracterizando como áreas estáveis com solos bem desenvolvidos.

Receberam valor 2 a classe dos Argisolos, menos intemperizados quando comparados aos latossolos,.

Por último, para o Nitossolo, atribuiu-se um valor intermediário (FRANCO et al., 2012, p. 3370).

Tabela2 – Classe de Fragilidade dos tipos de solos

<b>Classe de Fragilidade</b>	<b>Tipos de solos</b>	<b>Peso</b>
<b>Muito Fraca</b>	Latossolo Amarelo	1
<b>Fraca</b>	Argissolo vermelho- Amarelo	2
<b>Fraca</b>	Argissolo Amarelo	2
<b>Média</b>	Nitossolo Vermelho	3

Fonte: Adaptado de Ross (1994) e Franco (2012).

Os dados multiespectrais são oriundos do sensor RE-4, pertencentes aos satélites RapidEye, com data de passagem em 22 de Agosto de 2012, caracterizado por possuir resolução espacial de 5 metros, resolução radiométrica de 12 bits e resolução espectral de 5 bandas (Blue 440-510µm, Green 520-590µm, Red 630- 685µm, Red-Edge 690-730µm, Near IR, 760-850µm). Para segmentação e classificação orientada a objeto do uso e cobertura do solo da imagem, foi utilizado o software eCoginition 9.01 e sistema de projeção WGS 1984 Zona 22S.

A definição da classe de cobertura vegetal natural foi determinada utilizando o método não supervisionado e supervisionado, com técnica de classificação pixel a pixel e coletas de pontos em campo para fins de comparação. Posteriormente as classes demarcadas foram exportadas para o software ArcGIS 10.1, no qual foi elaborado o tratamento final do mapa e edição do layout.

Para a definição da fragilidade ambiental relacionada às classes de uso e cobertura do solo, foi utilizada a definição de Ross (1994), referente aos graus de proteção resultantes dos diferentes tipos de cobertura vegetal (Tabela 3), com o qual foi elaborado o mapa de fragilidade ambiental variando entre as classes de muito fraca a muito forte.

Tabela 3 – Classe de Fragilidade do Uso e Cobertura do Solo

Classe de Fragilidade	Tipos de uso e cobertura do solo	Peso
<b>Muito Forte</b>	Solo exposto, feições erosivas e áreas urbanas/indústrias	5
<b>Forte</b>	Pastagem	4
<b>Média</b>	Capoeira	3
<b>Fraca</b>	Nuvens, água	2
<b>Muito Fraca</b>	Florestas/Matas Naturais	1

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

A proximidade de drenagem foi elaborada a partir da ferramenta Buffer no software ArcGIS 10.1 e, após a definição dos pesos, as variáveis serão reclassificadas, isto é, modeladas matemático-espacialmente, e cruzadas entre si de maneira multicriterial (Eq.1), utilizando-se a média ponderada para elaboração do mapa síntese de fragilidade ambiental.

Equação 1: Análise de Multicritérios

$$r = (\sum_{i=1}^n w_{ij} * y_i) / (\sum_{i=1}^n y_i)$$

Onde, segundo Câmara, Davis e Monteiro (2001, p. 99),  $w_{ij}$  representa o peso da classe “i” do plano de informação “j”, e  $Y_i$  o peso do plano de informação “j” a partir dos pesos estabelecidos conforme Tabela 4.

Tabela4 – Classe de Fragilidade Ambiental

Classe de Fragilidade	Valor Atribuído
<b>Muito Baixa</b>	1
<b>Baixa</b>	2
<b>Média</b>	3
<b>Alta</b>	4
<b>Muito Alta</b>	5

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Declividade

A partir do mapa de declividade (figura 2), foram utilizados os parâmetros da metodologia proposta por Ross (1994, p. 67) para avaliar a fragilidade desta microbacia quanto a esta variável específica.

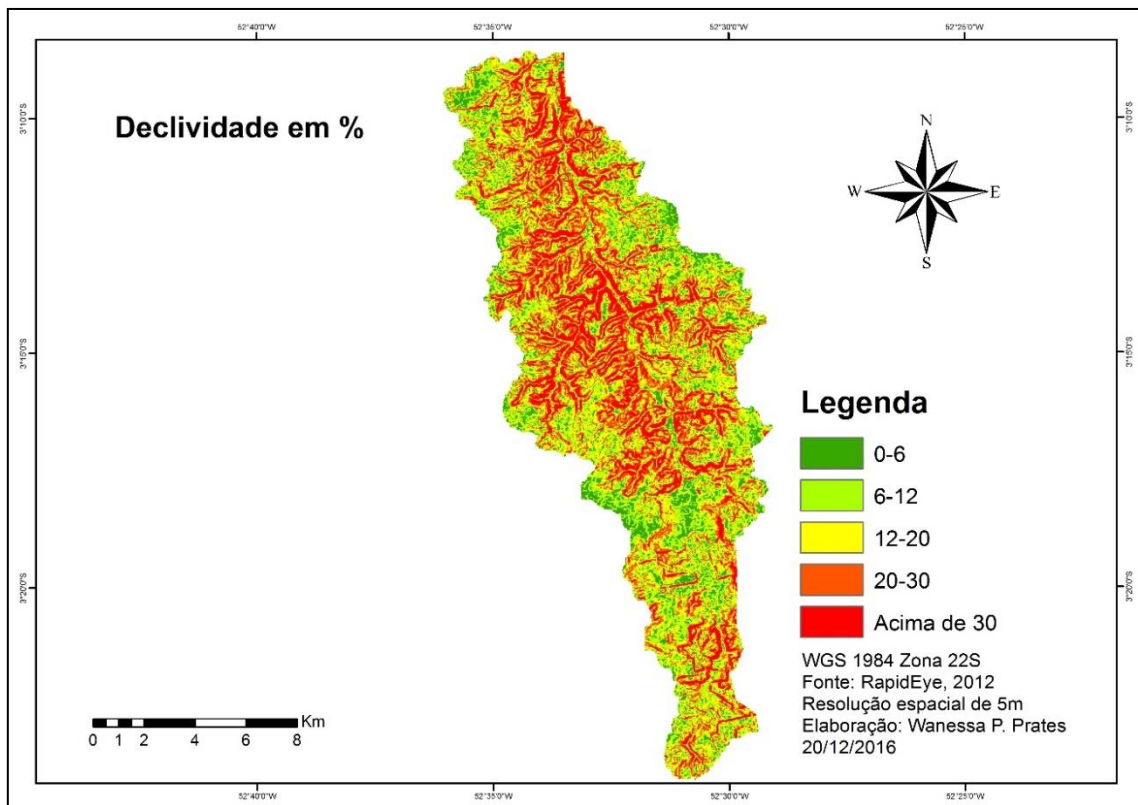


Figura 2 – Mapa de declividade da microbacia do rio Jarucu  
Fonte: SRTM, 2017 e RapidEye, 2012.

Localidades que apresentam declividades de 0 a 6% são consideradas áreas planas, possuindo, portanto, baixa propensão à ocorrência de processos erosivos. A partir de 6 a 12% a declividade se caracteriza por um relevo suavemente ondulado, mas ainda com fragilidade baixa de acordo com Ross (1994). Na microbacia do rio Jarucu as classes iniciais coexistem próximas geograficamente, totalizando 20% da área, principalmente no leito principal do rio e nas bordas, sendo, portanto, as áreas menos frágeis em termos ambientais.

Contudo 49% da microbacia, ou seja, a maior parcela da área em análise está inserida entre as classes de 12 a 20% de declividade, definida assim como fragilidade média

e compondo, principalmente, localidades próximas aos leitos fluviais e talwegues bem definidos do rio Jarucu.

As áreas que apresentam declividade igual ou superior a 20%, por potencializar os processos erosivos, são consideradas áreas de fragilidade forte e muito forte, compondo cerca de 31% da bacia em análise.

## Tipos de Solos

Analisar os tipos de solos (figura 3), sob a ótica da fragilidade ambiental, contribui para que a erodibilidade destas tipologias sejam também compreendidas neste processo.

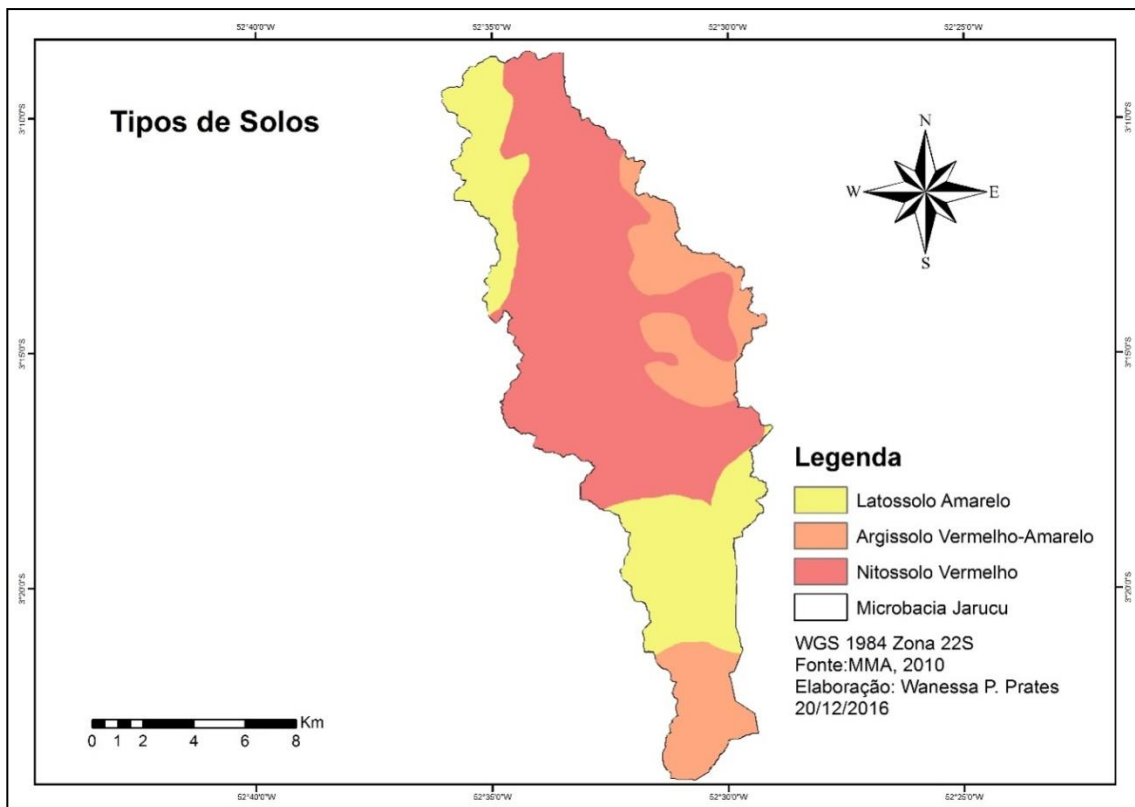


Figura 3 – Tipologia de solos da microbacia do rio Jarucu  
Fonte: MMA, 2010.

Assim, compondo 42% da microbacia do Rio Jarucu, e se localizando no Alto e Médio curso do rio, predominam o Nitossolo Vermelho, fortemente desenvolvido e com um avançado estágio de intemperização, susceptíveis portanto, a erosões, devido à presença de relevos acidentados (EMBRAPA, 1999, p. 71). De acordo com os parâmetros de classificação proposta por Ross (1994, p. 68), o nitossolo vermelho é disposto com um nível de fragilidade média. Correspondendo a cerca de 35% da bacia, principalmente na



porção noroeste e no médio a baixo curso do rio Jarucu, estão o Latossolo Amarelo e por fim, com 23% da área, o Argissolo Vermelho-Amarelo, na porção nordeste e baixo curso do rio. Segundo Ross (1994, p. 68), são solos que não são propensos à erosão, devido ao baixo teor de argila entre os horizontes A e B, além também, da boa drenabilidade, apresentando uma fragilidade baixa (GUERRA et al., 1998, p. 55).

### Proximidade de Drenagem

A utilização de análise da proximidade de drenagem (figura 4) é uma forma de indicar espaços onde ocorrem as Áreas de Preservação Permanente de Cursos d'água e onde também se localizam os afloramentos e nascentes da microbacia, portanto, áreas muito sensíveis à degradação ambiental (FREITAS et al., 2013, p. 445). A utilização dessa ferramenta foi de fundamental importância para a delimitação das áreas, determinando assim um perímetro de fragilidade, a partir do curso dos rios e nascentes, que são indicadores determinantes para a qualidade ambiental dos mesmos. Quanto mais próximo da drenagem maior o grau de fragilidade. Neste aspecto, esta variável será relevante quando cruzada às demais, para geração do mapa síntese de fragilidade ambiental.

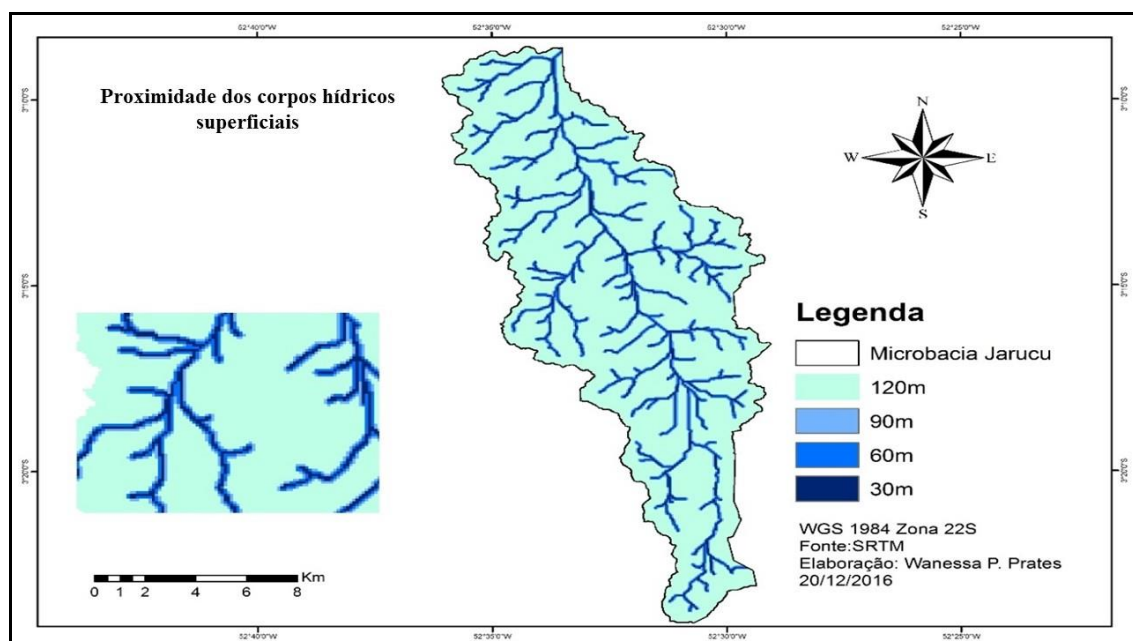


Figura 4 – Proximidade dos corpos hídricos superficiais da microbacia do rio Jarucu  
Fonte: SRTM, 2017.

### Uso e cobertura do solo

Como exposto sobre a fragilidade ambiental, a tipologia do uso e cobertura do solo é um fator preponderante, visto que é neste aspecto que se encontrarão o ambiente e a sociedade, refletindo diretamente e dialeticamente nos seus usos e coberturas do solo (figura 5).

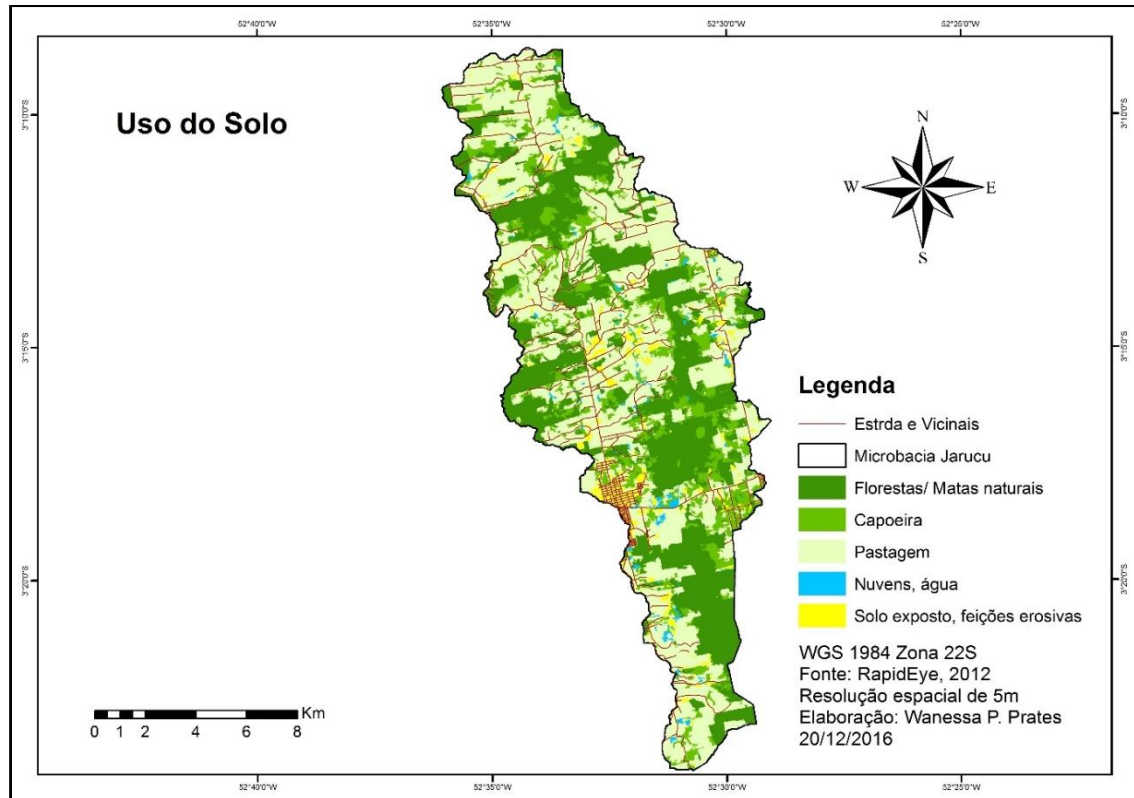


Figura 5 – Uso e Cobertura do Solo da microbacia do rio Jarucu  
Fonte: RapidEye, 2012.

A partir da classificação do uso do solo, observa-se no mapa que a pastagem é a classe predominante, representando 82 km<sup>2</sup> (48% da área estudada) e espacializada de maneira homogênea em toda a extensão da microbacia. Neste aspecto, é importante ressaltar que as áreas de pastagens ainda são oriundas das políticas de ocupação da região amazônica nas décadas de 1970 e 1980, principalmente, sendo atualmente intensificadas, com abertura de mais pastos destinados à pecuária, influenciando no desmatamento, o que é agravado pelo plantio de monoculturas, como a soja.

Contudo, a microbacia do rio Jarucu, ainda é pouco impactada por estas grandes monoculturas agrícolas, apresenta muitas pastagens degradadas, caminhando para a existência de solos expostos, mas que ainda representam apenas 5% da área de estudo com 9 km<sup>2</sup>, no qual a maior mancha se encontra no perímetro urbano, todavia observam-se estes eventos principalmente em áreas de pastagens ao longo da bacia.

Associado ao intenso uso do solo para pastagens, os impactos ambientais decorrentes dessas atividades e a frequente pressão sobre os fragmentos florestais são intensos. As áreas que ainda possuem florestas correspondem a 31% da cobertura da microbacia e a capoeira tem uma representatividade de 15%, e 1% foi classificado como água e nuvens. Com os resultados obtidos é possível identificar que as estradas centralizam grande parte da pressão nas classes de florestas, e acompanhada destas, uma alteração da paisagem natural bem como da dinâmica física, acarretando um desequilíbrio no Geossistema, intensificados pela ocupação humana sobre o meio, pois sua presença é marcada pela degradação, segundo Catelani et al., (2005, p. 118), contribuindo para o transporte de sedimentos e o assoreamento dos rios e nascentes, aumentando sua fragilidade.

### **Fragilidade ambiental**

Utilizando-se modelagem matemático-espacial, por meio de multicritérios, foi possível identificar, a partir de uma análise integrada, a fragilidade da microbacia do rio Jarucu (figura 6).

Observa-se a predominância da classe Baixa de fragilidade, totalizando 52,66% da área de estudo, bem como da classe Muito Baixa, representando 7,47%, valores que representam um “geoindicativo” de conservação, muito relacionados ainda à presença de manchas e fragmentos de florestas, e onde, portanto, ainda se oferece maior fator de proteção e estabilidade ao ambiente.

A classe de fragilidade Média é representada por 33,66 %, isto é, um ponto de atenção para gestão desta bacia, sendo que esta fragilidade, influenciada principalmente pela declividade e solo, coincide também com as áreas de pastagem.

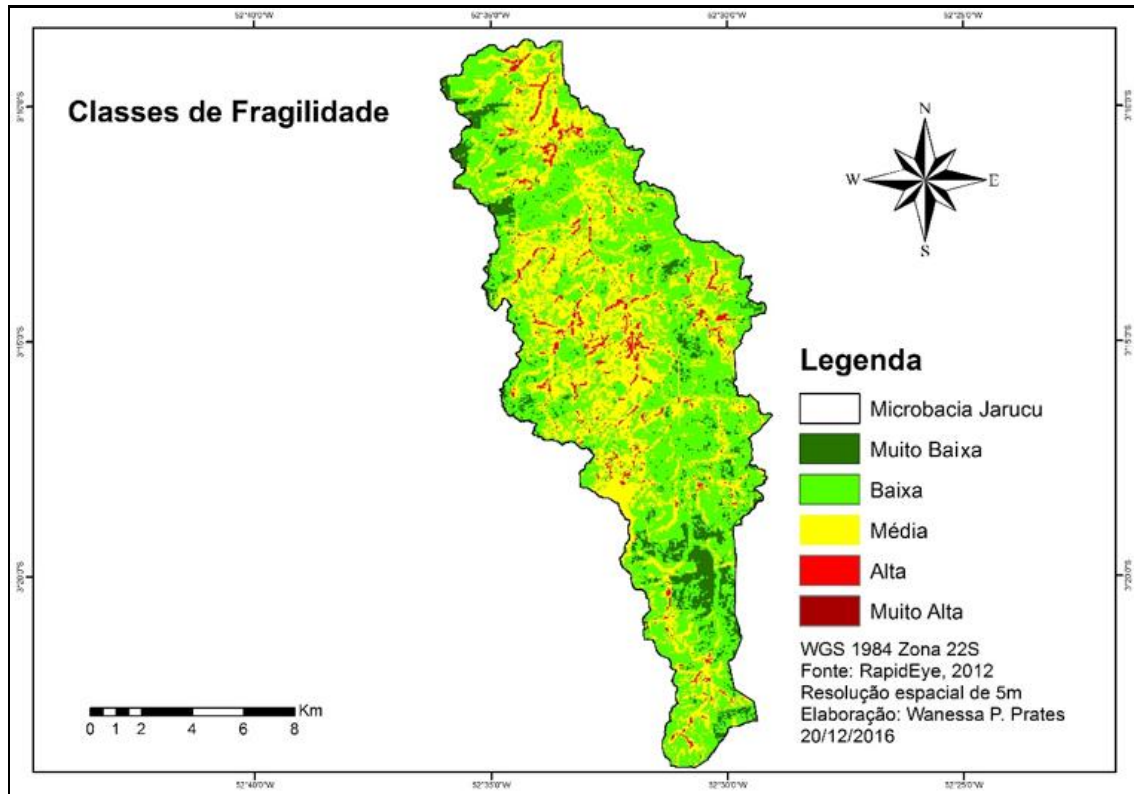


Figura 6 – Fragilidade Ambiental da microbacia do rio Jarucu  
Fonte: RapidEye, 2012.

As classes de fragilidade alta e muito alta não são expressivas na microbacia, compondo 14% da área total, entretanto, se localizam principalmente em áreas de proteção permanente, o que implica em riscos ambientais, tendo em vista que estas são áreas ambientalmente vulneráveis à lixiviação, erosão e ao assoreamento.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho é possível encontrar resultados que possibilitaram uma análise detalhada do padrão espacial e ambiental atual da bacia hidrográfica do rio Jarucu, localizado no município de Brasil Novo, estado do Pará.

Foi possível identificar que 69% da área da bacia possui declividade baixa e média; o solo de principal abrangência é o Nitossolo Vermelho, que se junta à cobertura vegetal composta 48% por pastagem, modelo típico de ocupação deste território, no qual a população teve incentivo das próprias políticas públicas de acesso à terra para substituir áreas de florestas por pastagens. Estas variáveis, somadas às demais por álgebra de mapas, influenciaram, a partir de uma análise geossistêmica, o padrão de fragilidade média para a bacia em estudo.

Foi possível ainda perceber que a localização das maiores classes de fragilidade, Alta e Muito alta, se encontra a partir da interseção de áreas de pastagens e solo exposto com a declividade média a alta, e nitossolo, potencializando os riscos de erosão na bacia hidrográfica. Para além disso, as margens se encontram degradadas e com sérios problemas ambientais.

Para a mudança desse cenário, o governo municipal implantou, mediante a lei nº 192, de 20 de novembro de 2014, o “Projeto Conservador das Águas” que realiza um PSA (Pagamento por Serviços Ambientais), começando de forma piloto na microbacia do rio Jarucu, com incentivo financeiro para a conservação e recuperação de Áreas de Preservação Permanente. Brasil Novo tornou-se o primeiro município paraense a realizar este tipo de ação e incentivar produtores, habituados à pecuária extensiva, a encarar a conservação e restauração de suas áreas como forma de renda. Esta política pode se tornar um indicador de mitigação das fragilidades, se de fato for cumprida e, acima de tudo, entendida por todos agentes envolvidos.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, R do; ROSS, J. L. S. As unidades ecodinâmicas na análise da fragilidade ambiental do parque estadual do morro do diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 26, p. 59-78, 2009.

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**: uma nova estratégia. São Paulo: Editora Contexto, 2002.

CARPANÊDO, Ê. Z; PENA, H. W. A; SOUZA, S. H. A. de. Análise das demandas regionais: estudo de caso do Município de Brasil Novo – PA. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, n. 194, fev. 2014.

CATELANI, C. S; BATISTA, G. T; TARGA, M. S. Geoprocessamento na determinação da proximidade de estradas vicinais em relação à rede de drenagem em uma bacia hidrográfica no Município de Taubaté, SP. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 3723-3730.

CUNHA, R. C.; DUPAS, F. A; PONS, N. A. D; TUNDISI; J. G. Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência Fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo do caso da bacia hidrográfica do ribeirão do feijão, São Carlos – SP. **Revista Geociências**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 399-414, 2011.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 412 p. (EMBRAPA/CNPS-RJ. Documentos, 5).



FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L.; CHAGAS, C. S. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Brazilian Journal of Geology**, n. 42, p. 114-127, 2013.

FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L.; CHAGAS, C. da S. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n. 1, p. 114-127, 2012.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Área de Preservação Permanente (APP), no noroeste paulista. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 3366-3373.

FREITAS, E. P.; MORAES, J. D.; PECHE FILHO, A.; STORINO, M. Indicadores ambientais para áreas de preservação permanente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 4, p. 443-449, 2013.

GIMENES, F. B. Q.; AUGUSTO FILHO, O. Mapas de fragilidade ambiental utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica (SIG). SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu-PR: INPE, 2013. p. 6564-6571.

GONÇALVES, G. G. G.; DANIEL, O.; COMUNELLO, É.; VITORINO, A. C. T.; ARAI, F. K. Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. **Floresta**, Curitiba, v. 41, n. 4, p. 797-808, out./dez. 2011.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 472p.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 16 mar. 2016.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K.C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, São José dos Campos. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 2203-2210.

LEAL, A. C. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento ambiental para o gerenciamento de recursos hídricos. **Entre-Lugar**, Dourados, MS, ano 3, n. 6, p. 65-84, jul./dez. 2012.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. Índices topográficos aplicados à modelagem agrícola e ambiental. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1575-1582, set. 2012.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 200 p.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsidio para estudos ambientais baseados em Análise Multicritério. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 2899-2906.

OLIVEIRA, P. T. S. de.; AYRES, F. M.; FILHO, G. E. da C. P.; MARTINS, I. P.; MACHADO, N. M. Geoprocessamento como ferramenta no licenciamento ambiental de postos de combustíveis. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 87-99, jun. 2008.

PERES, R. B.; SILVA, Ricardo S. A relação entre Planos de Bacia Hidrográfica e Planos Diretores Municipais: Análise de Conflitos e Interlocações visando Políticas Públicas Integradas. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 5., 2010, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ANPPAS, 2010. p. 45-68.

PORTO, M. F. A, PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

RODRIGUES, I.; RODRIGUES, T. P. T.; FARIAS, M. S. S. de.; ARAÚJO, A. de F. Diagnóstico dos impactos ambientais advindos de atividades antrópicas na margem do rio Sanhauá e Paraíba. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 5, n. 8, 2009.

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

SANTOS, J. G; OLIVEIRA, L. A de. Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Ribeirão São Bento Da Ressaca, Município De Frutal - MG. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v.5, n.15, p. 02-23, dez. 2013.

SILVA, E. A.; PEREIRA, R. S.; SILVA, C. K DA; GOESRGEN, L. C. DE G.; SCHUH, M. S. Uso de imagens orbitais no geoprocessamento algébrico da microrregião da Campanha Ocidental, **Floresta Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 3, p. 277-285, 2014.

SILVEIRA, C. T; FIORI, A. P; FIORI, C. O. Estudo das Unidades Ecodinâmicas de instabilidade potencial na APA de Guaratuba: subsídios para o planejamento ambiental. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 57, p. 9-23, 2005.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/SUPREN, 1977. 31 p.

TROMBETA, L. R.; GARCIA, R. M.; NUNES, R. S.; GOUVEIA, I. C. M. C.; LEAL, A. C.; GOUVEIA, J. M. C. Análise da fragilidade potencial e emergente do relevo da unidade de gerenciamento de recursos hídricos pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, n. 36, p. 159-173, 2014.

VALLE, I. C.; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta Ambiente**, Seropédica, v. 23, n. 2, p. 295-308, 2016.