



ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PÚNGUÊ, REGIÃO CENTRAL DE MOÇAMBIQUE.

Pedro Herculano Arrone¹

Raul Reis Amorim²

Lucrêncio Silvestre Macarringue³

Zacarias Alexandre Ombe⁴

Resumo

O presente artigo centra-se na análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Púnguê, tomando em consideração as particularidades geomorfológicas (declividade e curvatura das vertentes), precipitação, tipos de solos e uso e cobertura da terra. Em relação a procedimentos metodológicos, para além da revisão bibliográfica, foram utilizados dados vectoriais relativos a solos, precipitação, áreas de conservação oriundos de bases de dados do Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM), Instituto nacional de Meteorologia (INAME) e Ministério da Terra e Ambiente (MTA) respectivamente, e dados matriciais relativos a uso e cobertura de terra e modelos digitais do terreno (MDT). Os resultados obtidos revelam predominância da fragilidade ambiental baixa, numa proporção de 51,4 % da área total da bacia hidrográfica do rio Púnguê, entretanto a relativa homogeneidade da fragilidade baixa regista-se no extremo oriental. As classes de fragilidade média e alta na bacia hidrográfica do rio Púnguê registam-se na faixa central e ocidental, coincidindo com as sub-regiões relativamente elevadas, com solos de textura média e arenosa, para além da ocorrência de solos expostos devido acções antrópicas. Por outro lado, os resultados demonstram a falta do cumprimento das normas preconizadas na lei de terras quanto às distâncias mínimas a observar na ocupação e uso de terra em relação as nascentes e margens dos rios.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica, análise, erosão, fragilidade ambiental.

Abstract

This article focuses on the Analysis of Púnguê river watershed environmental fragility, taking into consideration the geomorphological particularities (slope and curvature of the slopes), precipitation, types of soils, land use and land cover. In relation to methodological procedures, apart from the bibliographic review, the vector data related to soils, precipitation, conservation areas from databases from Mozambique Agricultural Research Institute (IIAM), National Institute of Meteorology (INAME) and Ministry of Land and Environment (MTA) respectively, and the matrix data related to land use and land cover and digital terrain models (MDT) were used. The results obtained reveal a predominance of low environmental fragility, in a proportion of 51.4% of the total Púnguê River hydrographic area, however the relative homogeneity of low fragility is registered in the eastern end. The ranks of medium and high fragility in the Púnguê river watershed are found in the central and western mark, coinciding with the relatively high sub-regions, with soils of medium and sandy texture, in addition to the occurrence of exposed soils due to anthropic actions. On the other hand, the results show the lack of compliance with the norms recommended in the land law regarding the minimum distances to be observed in the occupation and use of land in relation to the springs and shores of the rivers.

Keyword: Watershed, analysis, erosion, environmental fragility.

¹ Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Estadual de Campinas, autor principal pedroherculano07@yahoo.com.br ;

² Doutor pelo curso de Geografia da Universidade estadual de Campinas, [coautor1 raulreis@unicamp.br](mailto:raulreis@unicamp.br);

³ Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Estadual de Campinas, [coautor2 lucrencio.macarringue@gmail.com](mailto:lucrencio.macarringue@gmail.com);

⁴ Doutor pelo Curso de Geografia, na Universidade Witwatersrand em Johannesburg [coautor3 zuyyaombe@hotmail.com](mailto:zuyyaombe@hotmail.com)



INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas para além da conotação física em que se concebe como uma unidade espacial composta por um sistema de superfícies de vertentes e rede de drenagem, que drenam água que conflui até resultar num leito único em exutório (MACHADO e TOMIOZZO, 2013) também, se entende como unidade de planeamento ao direccionar à produção de informações conducentes à conservação de recursos naturais, à possibilidade de avaliar ao nível da bacia hidrográfica, o seu potencial de desenvolvimento e a sua produtividade biológica, incluindo as suas limitações, permitindo a determinação das melhores formas de aproveitamento, com o mínimo impacto ambiental (PIRES et al., 2002).

As bacias hidrográficas para além de constituir espaços onde se desencadeiam processos físicos geográficos através da troca de matéria e energia, também se afiguram como espaços de assentamentos humanos e de produção socioeconómica, pelo que as particularidades da sua Geodiversidade e biodiversidade quanto às potencialidades e fragilidades, revestem-se de suma importância para a planificação de acções ambientalmente sustentáveis.

Conforme CHIRSTOFOLETTI, (1999, p. 173),

As bacias hidrográficas surgem como unidades funcionais, com expressividade espacial, sendo sistemas ambientais complexos em sua estrutura, funcionamento e evolução. Sob perspectiva de funcionalidade integrativa entre as características do geossistema e do sistema socioeconómico, as bacias hidrográficas tornam-se as unidades fundamentais para a mensuração dos indicadores geomorfológicos para análise da sustentabilidade ambiental.

As formas de ocupação e usos de terra que se desenvolvem ao longo duma bacia hidrográfica, interferem nos processos ecológicos, podendo gerar riscos ou impactos ambientais, sobretudo quando não se observam as particularidades geofísicas no que tange as potencialidades ou fragilidades. Em prol da ocupação e usos de terra, Philipphi jr. (2004), chama atenção a necessidade de apropriação pelos usuários, do conhecimento das propriedades da paisagem, de modo a incorporar directrizes ambientais nas suas actividades, conduzindo ao alcance da sustentabilidade nas suas diferentes facetas (ecológica, ambiental, social e económica).

O conhecimento dos parâmetros geofísicos duma bacia hidrográfica reveste-se de grande importância para o planeamento de acções sustentáveis para as diferentes formas de ocupação e usos de terra. A análise de elementos geomorfológicos, por exemplo, contempla uma diversidade de parâmetros que permitem melhor caracterizar o ambiente de uma bacia, sua predisposição à ocorrência de alguns eventos e sua incompatibilidade com certas



actividades humanas ou com alguns modelos de uso e ocupação do solo (MACHADO e TOMIOZZO, 2013).

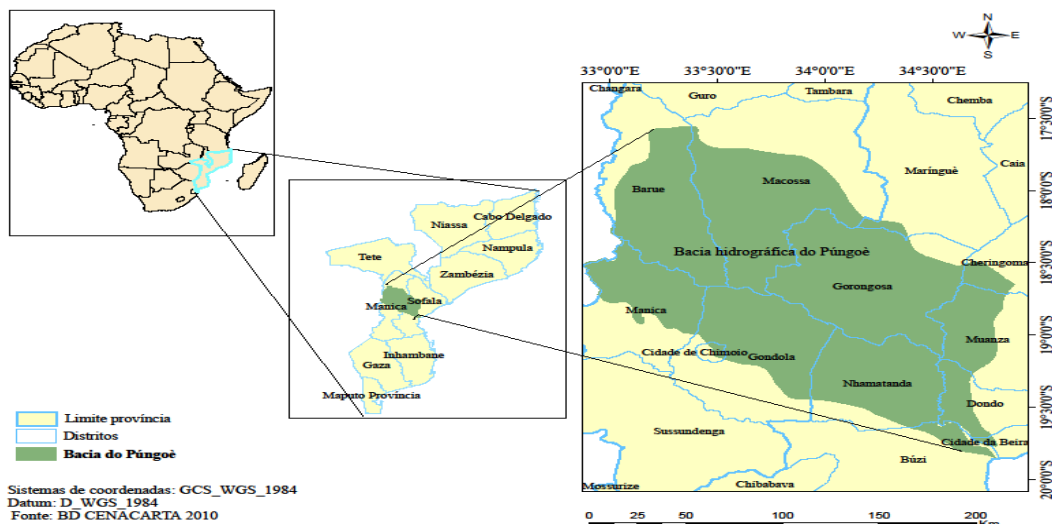
Na sequência, Silva et al (2014 p. 88) defendem que “as informações sobre distribuição e tipos de vegetação e uso da terra, bem como transgressão ambiental podem auxiliar os gestores públicos na tomada de decisões, em especial nas questões ambientais locais”.

Numa perspectiva específica, Torres et al (2013 p. 284) defende que,

A declividade do terreno é de suma importância para o disciplinamento do uso de terra, uma vez que serve de patamar para importantes elementos restritivos, a exemplo de áreas de preservação permanente que são obrigatoriamente mantidas em declives acima de 45°.

A bacia hidrográfica do rio Púnguè, abrange dois países (Zimbabwe e Moçambique) com uma área total de 31,151 km², dos quais 1,461 km² (4.7%) no Zimbabwe, e 29,690 km² (95.3%) em Moçambique, sendo que no território moçambicano, situa-se na região centro, abrangendo parte das províncias de Manica e Sofala, onde recai o estudo.

Mapa 1- Enquadramento geográfico da bacia hidrográfica do rio Púnguè



A bacia hidrográfica do rio Púnguè é caracterizada por uma diversidade de formas de ocupação e usos de terra (ocupação por habitações, actividades agrícolas tanto de subsistência como mecanizadas, sistemas de captação de água, pastagem, mineração artesanal, exploração de madeira, etc.), entretanto, nota-se ausência de conhecimentos sistematizados sobre a fragilidade ambiental face as particularidades da Geodiversidade e da biodiversidade, que podiam servir de base para definição de medidas de prevenção ou de correcção de riscos ou impactos ambientais associados.



O presente artigo objectiva analisar a fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Púnguè tomando como base as particularidades geomorfológicas (declividade e curvatura das vertentes) tipos de solo, precipitação e uso e cobertura de terra, para além da verificação do cumprimento normas quanto as distancias a observar na ocupação e uso de terra nas áreas adjacentes das nascentes e margens dos rios.

Segundo Machado e Tomiozzo (2013 p. 46),

O estudo detalhado de uma bacia hidrográfica, seja de suas características físicas, de seus modelos de parcelamento, uso e ocupação do solo ou suas características sociais e económicas, é fundamental para que se proceda à utilização e ao manejo mais adequado dos seus recursos, especialmente os hídricos.

Como pode se perceber no trecho acima, a sustentabilidade não só poderá ser garantida pelo conhecimento das particularidades geofísicas mas também inclui a necessidade de combinar com os conhecimentos das particularidades das formas de ocupação e usos de terra.

Por seu turno, Ross (2019 p. 17) defende que:

Com a postura de que é preciso prevenir muito mais do que corrigir, torna-se imperativa a elaboração dos diagnósticos ambientais para que se possa elaborar prognósticos, e com isso estabelecer directrizes de uso dos recursos naturais de modo mais racional possível, minimizando a deterioração da qualidade ambiental.

As características geomorfológicas constituem uns dos elementos importantes a considerar no processo de ocupação e usos de terra, pois, de acordo as particularidades podem, por exemplo, algumas características favorecer ou ser susceptíveis a erosão e outras favorecer a inundações, pelo que as acções antrópicas sem observância das particularidades em termos de grau de susceptibilidade, tem conduzido a intensificação dos processos numa forma negativa. A erosão, por exemplo, como um processo natural, pode ser intensificada por práticas não sustentáveis do uso de solo.

A análise morfométrica envolve uma diversidade de parâmetros que permitem melhor caracterizar o ambiente de uma bacia hidrográfica como são os casos da predisposição à ocorrência de alguns eventos e sua incompatibilidade com certas actividades antrópicas, sendo que alguns desses parâmetros têm sido utilizados como indicadores da deterioração ambiental ao qual determinada bacia está exposta e, assim, seu estudo permite melhor avaliar sua susceptibilidade à ocorrência de eventos ligados aos processos erosivos e às inundações (MACHADO e TOMIOZZO, 2013).

A declividade controla grosso modo a velocidade da água durante o processo de escoamento superficial, sendo que quanto maior for o pendor da vertente, maior a velocidade da água e conseqüentemente maior a força exercida pela água sobre o solo ou rocha sobre a



qual se movimenta. Na sequência, a declividade influencia na maior ou menor infiltração da água, embora reconhecendo a influência de outros factores como a presença da vegetação e a porosidade dos solos.

Para análise de fragilidade ambiental diversos métodos ou modelos foram desenvolvidos e são usados, como é o caso da metodologia proposta por Crepani e outros, em que se definem escalas de vulnerabilidade que compreendem os graus de maior estabilidade (com valores próximos a 1), estabilidade intermédia (com valores próximos a 2) e vulnerável (com valores próximos a 3), considerando os temas da geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima, analisados individualmente mas no final calcula-se a média aritmética através da equação empírica (CREPANI e outros, 2001).

Na sequência, Ross (1994) desenvolveu e sistematizou escalas de fragilidade que variam de muito fraca a muito forte, representados pelos seguintes códigos: muito fraca (1), fraca (2), média (3), forte (4) e muito forte (5), considerando os temas declividade, curvatura das vertentes, solos, precipitação e cobertura e uso de terra, analisado de forma individual e no final uma análise global através da sobreposição das diferentes variáveis.

Para cada variável temática, Ross, define intervalos ou escalas de fragilidade nomeadamente: na declividade considera até 6% (muito fraca), de 6 a 12% (fraca), de 12 a 20% (média), de 20 a 30% (forte) e acima de 30% (muito forte); curvatura das vertentes com as seguintes classes: de -1,70 a -0,13 (fragilidade forte ou alta); vertentes côncavas, para os intervalos de 0,09 a 1,8 (fragilidade muito forte ou muito alta) e vertentes retilíneas para os intervalos de -0,13 a 0,09 (fragilidade média); na variável solos agrupa tipos de solo também tendo em consideração as 5 escalas de fragilidade; na variável precipitação considera o comportamento da precipitação ao longo do ano, definindo intervalos de fragilidade e na variável uso e cobertura de terra também define escalas de fragilidade em função dos tipos de vegetação, incluindo os as formas ou tipos usos de terra.

Para Ross (2019 p. 76),

A intensidade da dissecação, também conhecida como intensidade de rugosidade topográfica, é o primeiro grande indicador da fragilidade potencial que o ambiente natural apresenta a densidade de drenagem associada ao grau de entalhamento dos canais combinados, determina a rugosidade topográfica ou índice de dissecação do relevo e obviamente define a dimensão do interflúvio médio dos conjuntos homogêneos de formas ou conjuntos de formas semelhantes.

Por outro lado, a natureza dos solos constitui um factor importante a considerar na análise da fragilidade ambiental, particularmente a processos erosivos, como defende Resende et al (2002) ao afirmar que o fluxo e a retenção da água no solo dependem da profundidade,



textura, estrutura, porosidade e pedoforma, as quais se podem integrar das mais variadas maneiras.

Importa referenciar que as particularidades pedológicas, quando combinadas com as características geomorfológicas oferecem resultados significativos para análise da susceptibilidade. Por exemplo, em bacias hidrográficas com dominância de latossolos e neossolos quaternários, associados a relevo plano e suave ondulado, a drenagem é pouco expressiva, o que significa menos processos erosivos, entretanto, nas bordas desses domínios a dissecação é severa (RSSENDE, 2002).

O mesmo assunto sobre influência das particularidades dos solos na fragilidade ambiental, também é defendida pelo LEPSCH (2010) ao sustentar que alguns solos são mais susceptíveis à erosão em relação a outros, dependendo das particularidades das propriedades físicas (textura, permeabilidade e profundidade), apontando como exemplo que os solos de textura arenosa são mais susceptíveis a processos erosivos.

A vegetação também constitui um dos indicadores da susceptibilidade à processos erosivos ao nível duma bacia hidrográfica, pois, desempenha múltiplas funções em relação a água precipitada em forma de chuva. A interceptação exercida pelas folhas, incluindo o manto formado pelas folhas espalhadas à superfície do solo, amortecendo as gotas de água de modo que não alcancem o solo com maior intensidade e conseqüente redução do impacto erosivo. Importa salientar também a influência da vegetação no processo da infiltração, a função protectora dos sedimentos a através das raízes, entre outras.

A função protectora da vegetação dos processos erosivos e à disponibilidade da água (quantidade e qualidade) é defendida pelo Machado e Tomiozzo (2013 p. 103) ao afirmar,

A cobertura vegetal (distribuição, tipologia, densidade etc.) se reveste de especial significado para o estudo de bacias hidrográficas, na medida em que se relaciona especialmente à protecção dos solos e, por conseqüência, também aos processos de infiltração, de escoamento superficial, de evapotranspiração, de erosão e transporte de sedimentos, todos eles directamente relacionados à qualidade e à quantidade de água.

A devastação das formações vegetais ao nível das bacias hidrográficas pelas actividades antrópicas tem contribuído para intensificação de processos erosivos, afectando os processos fluviais, incluindo a qualidade da água, sobre tudo quando a devastação da vegetação envolve as margens dos rios, como fundamenta Queiroz (2017 p. 128) ao afirmar que “as mudanças no uso do solo nas encostas geram processos erosivos que podem promover alterações na dinâmica fluvial”.

Importa destacar que a fragilidade ambiental tomando como factor a cobertura vegetal, pode ser analisada também no contexto da alteração da cobertura vegetal que pode



resultar em desequilíbrio no sistema, dando lugar a aumento significativo de escoamento superficial, como consequência da diminuição do processo da infiltração, acelerando assim os processos erosivos.

Queirós (2017), no seu estudo sobre mapeamento de declividades e das tipologias de uso de terra como subsídio para zoneamento ambiental, concluiu que na bacia hidrográfica estudada, havia ocorrência de diferentes processos erosivos que se associavam a barragem e a degradação de mata ciliar ao longo do curso do rio. O mesmo autor, aponta a questão das mudanças no uso de solo nas encostas, que geram processos erosivos e promovem a alterações na dinâmica fluvial, culminando com processos de assoreamento.

Na sequência, num outro estudo desenvolvido por Nunes e Pinto (2007) em prol do conhecimento local sobre o reflorestamento da mata ciliar (floresta de galeria) para conservação ambiental em Alto do São Francisco, Minas Gerais, aponta as comunidades locais reconhecem as múltiplas funções da floresta de galeria para o rio, ao referenciar as funções de manutenção da temperatura da água do rio, a questão de ser fonte de produção de alimentos para os peixes, a função de retenção de sedimentos e poluentes provenientes do escoamento superficial e consequente minimização do assoreamento do rio.

As formações vegetais predominantes nas nascentes e margens dos rios, denominadas mata ciliar ou floresta de galeria, desempenham uma diversidade de funções ecológicas, ao funcionar como esponja que absorve e retêm a água e libera gradativamente tanto para o lençol freático como para o rio e por outro lado, por influenciarem na disponibilidade da qualidade da água em termos da sua qualidade na medida em que forma uma barreira aos sedimentos e da carga de poluentes físicos (diversos tipos de resíduos) e químicos como agro-tóxicos carregados pela água das chuvas, evitando a contaminação da água dos rios.

A fragilidade ambiental numa bacia hidrográfica deve ser analisada combinando diversos factores como testemunham as informações de diversos autores acima arrolados. Os factores a considerar não só devem ser de ordem física mas também é preciso tomar em consideração os factores antrópicos, pois, por exemplo, a forma como a terra é ocupada ou explorada, quando cultivada, condiciona uma maior ou menor erodibilidade dos solos. Com o recobrimento do terreno por um denso cultivo ou por resíduos de cultivos anteriores, o impacto directo das gotas das chuvas sobre a superfície do solo não só é evitado como aumenta a absorção da água. Por outro lado, o tipo de cultura agrícola influencia no nível de fragilidade, pois, em alguns sistemas agrícolas tornam um mesmo solo mais susceptível à



erosão do que outros, Por exemplo, as culturas anuais (como milho, algodão e soja) deixam a superfície mais exposta do que os cultivos perenes (como a laranjeira e o cafeeiro).

METODOLOGIA

Em termos metodológicos, para esta pesquisa foram utilizados dados vectoriais relativos a solos, precipitação, áreas de conservação oriundos de bases de dados do Instituto de Investigação Agrária de Moçambique (IIAM), Instituto nacional de Meteorologia (INAME) e Ministério da Terra e Ambiente (MTA) respectivamente, e dados matriciais relativos a uso e cobertura de terra e modelo digital do terreno (MDT) oriundos das bases de dados disponibilizados respectivamente nos seguintes endereços: www.earthexplorer.usgs.gov e <https://search.earthdata.nasa.gov>.

Os dados vectoriais foram harmonizados em ambiente SIG utilizando o ArcGIS 10.8, harmonização esta que consistiu na definição da mesma projecção (WGS 1984, UTM, zona 36S) e conversão para o formato matricial, reclassificação de acordo com o modelo de modelagem escolhido (Ross, 1994).

Os dados de solos foram harmonizados consoante a nomenclatura, convertendo da FAO para a da Embrapa possibilitando atribuir os pesos devidos.

Na análise da fragilidade tomado como variável solos, se consideraram as classes de fragilidade definidas por Ross (1994), nomeadamente: solos com fragilidade muito baixa (latossolo roxo, latossolo vermelho escuro e vermelho amarelo de textura argilosa), solos de fragilidade baixa (latossolo amarelo e vermelho amarelo de textura média/argilosa), solos com fragilidade média (latossolo vermelho amarelo, terra roxa, terra bruna, podzólico amarelo-vermelho de textura média/argilosa), solos de fragilidade forte ou alta (podzólico amarelo-vermelho de textura média/arenosa e cambissolos) e solos de fragilidade muito forte ou muito alta (podzolizados com cascalhos, litólicos a areias quartzosas).

Os dados de precipitação, sendo pontuais foram reamostrados pelo método do vizinho mais próximo permitindo a cobertura de toda a área da bacia. No que tange a análise da fragilidade a processos erosivos tomando em consideração a precipitação, também se baseou nas classes de fragilidade do Ross, que subdivide nas seguintes classes: Muito baixa (situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 1000 mm/ ano), baixa (situação pluviométrica com distribuição regular ao longo do ano, com volumes anuais não muito superiores a 2000 mm/ ano), média (situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno, e no verão com maiores intensidades de Dezembro a Março), forte (situação



pluviométrica com distribuição anual desigual, com período seco entre 3 e 6 meses, alta concentração das chuvas no verão entre Novembro e Abril, quando ocorrem de 70 a 80% do total das chuvas) e muito forte situação pluviométrica com distribuição regular ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500 mm/ano; ou ainda, comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de alta intensidade e volumes anuais baixos, geralmente abaixo de 900 mm/ano).

Os dados de uso e cobertura de terra foram obtidos por meio da classificação de imagens OLI/Landsat 8 dentro da Plataforma Google Earth Engine (GEE) utilizando-se redutores de mediana e seguindo todos os passos de processamento digital de imagens desde a selecção das imagens, remoção de nuvens até a geração de matrizes para avaliação da acurácia do mapeamento. A Acurácia Global foi de 97% e índice Kappa 0.96 e as classes definidas foram: floresta, savana arbustiva e gramíneas, culturas agrícolas em áreas inundáveis, solo exposto/área habitacional, afloramentos rochosos e água.

Os MDT's foram gerados a partir de dados SRTM, 30 m de resolução espacial. A partir deste dado foram gerados os seguintes produtos: declividade com as seguintes classes: até 6% (muito fraca), de 6 a 12% (fraca), de 12 a 20% (média), de 20 a 30% (forte) e acima de 30% (muito forte); curvatura das vertentes com as seguintes classes: de -1,70 a -0,13 (fragilidade forte ou alta); vertentes côncavas, para os intervalos de 0,09 a 1,8 (fragilidade muito forte ou muito alta) e vertentes rectilíneas para os intervalos de -0,13 a 0,09 (fragilidade média).

Para cada variável utilizada foram definidos pesos para avaliar a fragilidade de perda de solo de acordo com suas características conforme proposto por Ross (1994) sendo que o peso 1 corresponde a muito baixa, 2 a baixa, 3 a média, 4 a alta e 5 a muito alta.

Uma vez atribuídos esses pesos para cada variável foi possível gerar o mapa de fragilidade a partir da média aritmética das 5 variáveis utilizadas neste estudo.

A sobreposição de mapa de ocupação e usos de terra, com o de rede hidrográfica, objectivou a determinação da área de protecção em relação as nascentes dos rios (100 metros), das margens do rio (50 metros), da orla marítima (100 metros) das barragens e albufeiras (250 metros) conforme a lei de terras de Moçambique (Lei nº 19/97 de 1 de Outubro), de modo a aferir a compatibilidade ou conflitualidade ambiental e legal da ocupação e usos de terra e alertar a possíveis riscos ou impactos ambientais à luz de teorias.



APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

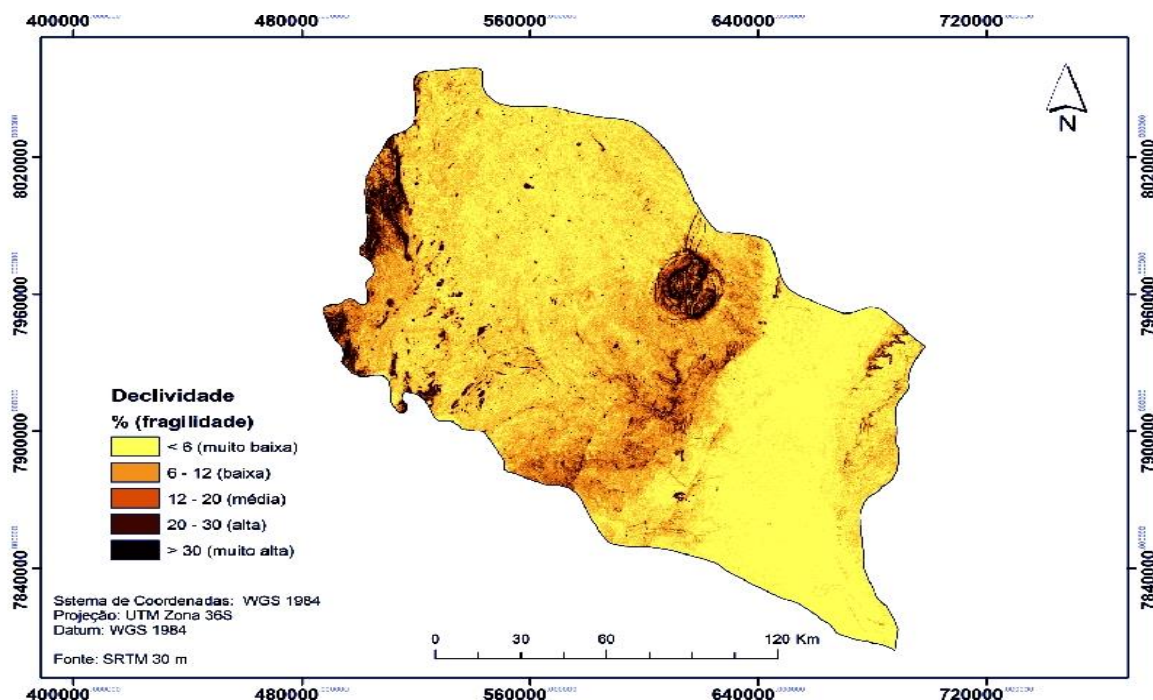
Partindo do pressuposto de que uma bacia hidrográfica é um sistema aberto, sendo que os diferentes subsistemas que o compõem desenvolvem relações recíprocas através da matéria e energia, a análise da fragilidade ambiental neste artigo, faz-se através do entrosamento de diferentes variáveis (declividade, curvatura, solos, precipitação e uso e cobertura da terra), baseando-se nas classes de fragilidade definidas pelo Ross (1994). A fragilidade em referência cinge-se na susceptibilidade à ocorrência de processos erosivos face às particularidades das características das variáveis acima indicadas, tomando em consideração a sua variação espacial.

Entretanto, antes da sobreposição das diferentes variáveis, fez-se a análise da fragilidade variável por variável, obedecendo as classes de fragilidade do Ross (1994). Sob ponto de vista das particularidades geomorfológicas importa destacar que as classes de declividade, constituem indicadores importantes para determinação da fragilidade ou susceptibilidade quanto a ocorrência de processos erosivos na medida em que o grau da declividade determina a velocidade da água durante o escoamento superficial.

Os resultados obtidos revelam que grande área do extremo este da bacia hidrográfica do rio Púnguè (junto a costa do oceano indico) a fragilidade varia de muito fraca a fraca, na medida em que a declividade dominante não ultrapassa os 6%, seguida de áreas de predominância de declividades que variam de 6 a 12 %. (vide o mapa 2). Portanto, nesta sub-região da bacia a susceptibilidade à ocorrência de erosão é relativamente fraca sob ponto de vista da declividade, podendo ser uma área susceptível a inundações. Não obstante, na mesma sub-região, a nordeste da bacia, notam-se manchas de ocorrência de níveis de fragilidade média, coincidindo com a sub-região do planalto de Cheringoma com altitudes não superiores a 400 metros, podendo ocorrer focos de processos erosivos.



Mapa 2- Fragilidade na bacia hidrográfica de Púnguè em função das classes de declividade

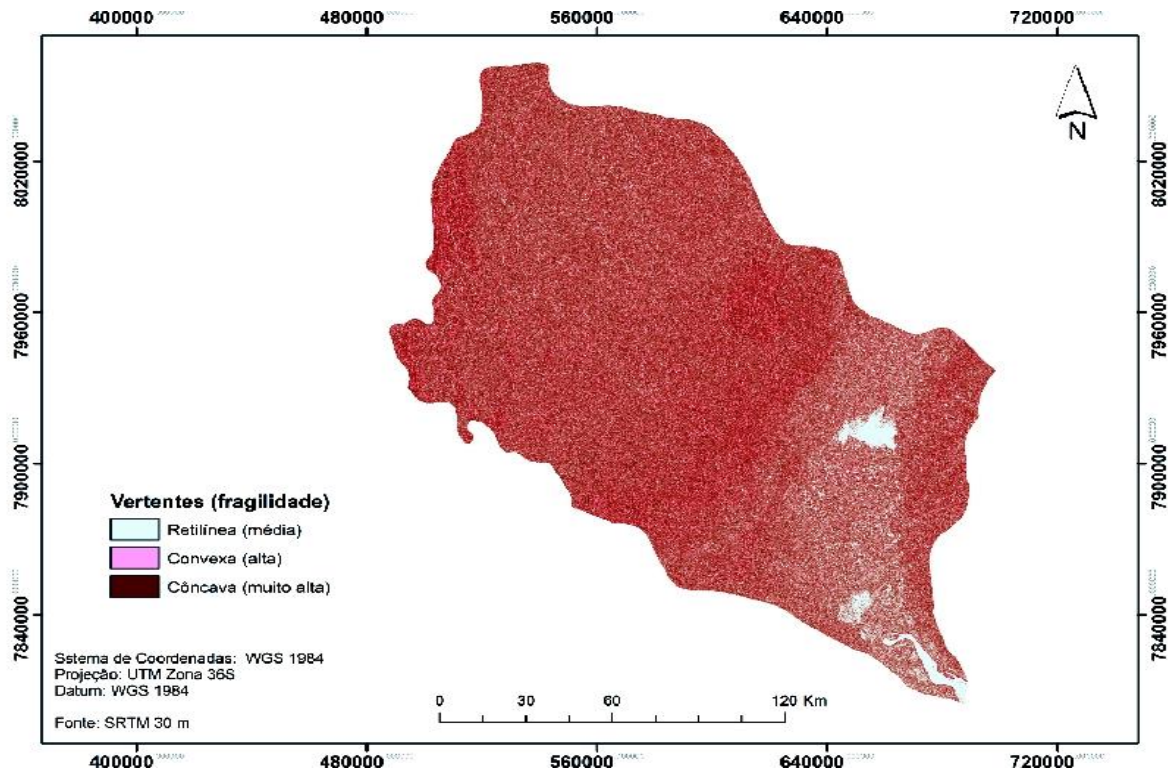


Na região central da bacia hidrográfica do rio Púnguè, a fragilidade elevada coincide com a sub-região da Serra de Gorongosa com altimetria que alcança os 1863 metros, portanto, as classes de fragilidade dominantes na faixa central variam de média (declividades entre 12 a 20%) a alta (declividade entre 20 a 30%).

No extremo ocidental da bacia hidrográfica do rio Púnguè, a fragilidade muito alta coincide com os sistemas montanhosas, como são os casos da sub-região de sistema montanhoso de Chimanimani com altimetria máxima de 2436 metros no monte Binga, nas sub-regiões de monte Vumba (1898 metros), monte Inyangani (2580 metros) e monte Ruinjì (1946 metros) e na região central da bacia, destaca-se a sub-região.

Na sequencia, fez-se a análise da fragilidade tomando em consideração as classes de curvatura das vertentes, sendo que os resultados obtidos revelam que a elevada susceptibilidade ou fragilidade a processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Púnguè coincide com as áreas com formações montanhosas (nas cabeceiras) no extremo ocidental e na faixa central na sub-região da serra de Gorongosa. Nestas sub-regiões da bacia hidrográfica do rio Púnguè, o perfil das vertentes varia grosso modo de convexo a côncavo, correspondendo também as áreas que se observam maiores declividades, propiciando a ocorrência de processos erosivos e consequente formação de ravinhas.

Mapa 3- Fragilidade na bacia hidrográfica de Púnguè em função da curvatura das vertentes

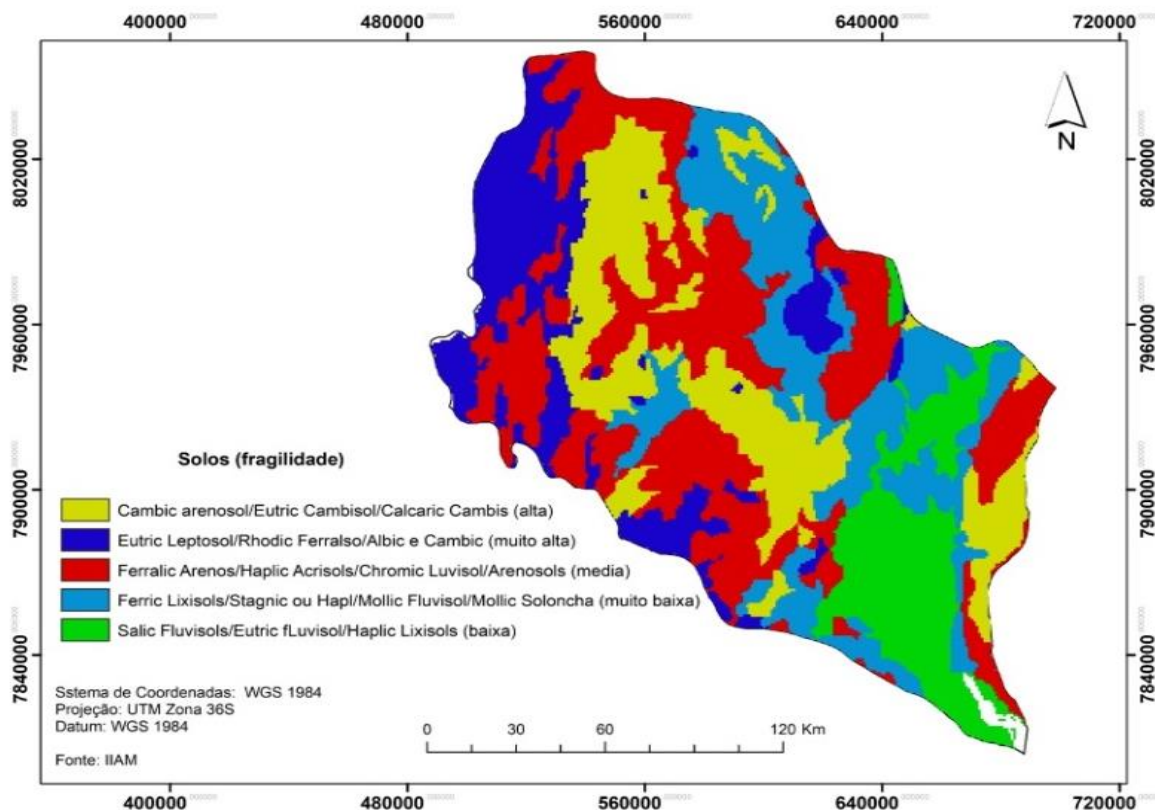


Na faixa oriental da bacia hidrográfica do rio Púnguè nota-se a predominância de vertentes retilíneas, sendo que estas vertentes favorecem o escoamento superficial das águas de forma laminar, no entanto, correspondendo a área com média fragilidade ou susceptibilidade à ocorrência de processos erosivos.

Os resultados da análise da fragilidade dos solos revelam que o extremo ocidental da bacia hidrográfica do rio Púnguè notabiliza-se pela ocorrência de solos cujo grau de fragilidade varia de alta a muito alta. Os solos com elevada fragilidade (Solos vermelhos de textura média oxícos, Solos líticos e Solos arenosos castanhos) à processos erosivos ocorrem com maior predominância no extremo ocidental da bacia hidrográfica do rio Púnguè e coincide com áreas com classes de declividades também com elevada fragilidade.



Mapa 4- Fragilidade na bacia hidrográfica de Púnguè em função do tipo de solos

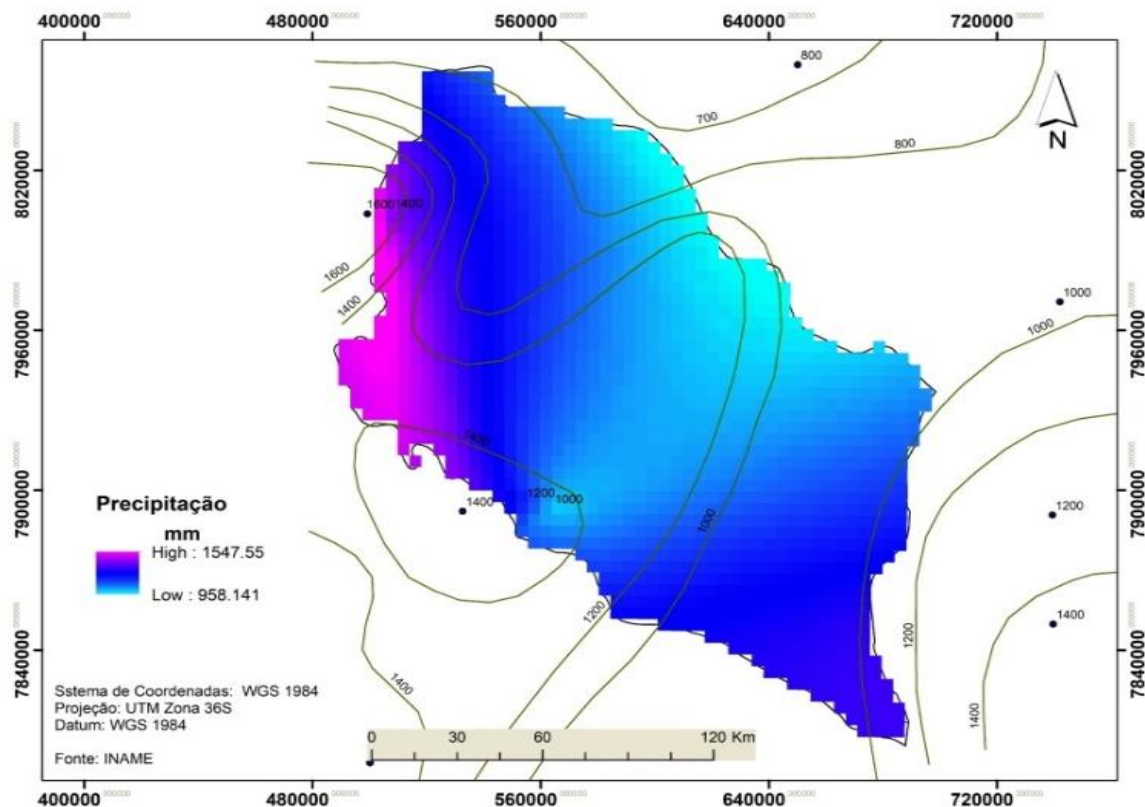


Na faixa central da bacia hidrográfica, os solos predominantes que ocorrem, a sua fragilidade varia de média a muito alta, coincidindo com as áreas mais elevadas ou seja, que apresentam níveis elevados de susceptibilidade em relação a variável declividade, como é o caso da sub-região da serra de Gorongosa.

Na faixa da bacia próxima à costa do Índico, os solos predominantes (neossolos flúvicos, latossolos, argissolos, gleissolos sálicos, gleissolos), quanto ao nível de fragilidade varia de baixa e muito baixa, entretanto, ocorrem algumas manchas de ocorrência de solos com nível de fragilidade média, com destaque a sub-região do planalto de Cheringoma a nordeste da bacia, coincidindo com a sub-região que a susceptibilidade em relação às classes de declividade também atinge os níveis de média a alta nalguns lugares.

Tomando em consideração o comportamento da precipitação ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè, corresponde a classe de fragilidade média (situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno, e no verão com maiores intensidades de Dezembro a Março). Importa destacar que no extremo ocidental da bacia, registam-se os valores médios mais altos da precipitação, coincidindo com a sub-região com fragilidades elevadas em relação a declividade, curvatura e tipo de solos.

Mapa 5- Níveis de precipitação na bacia hidrográfica do rio Púnguè

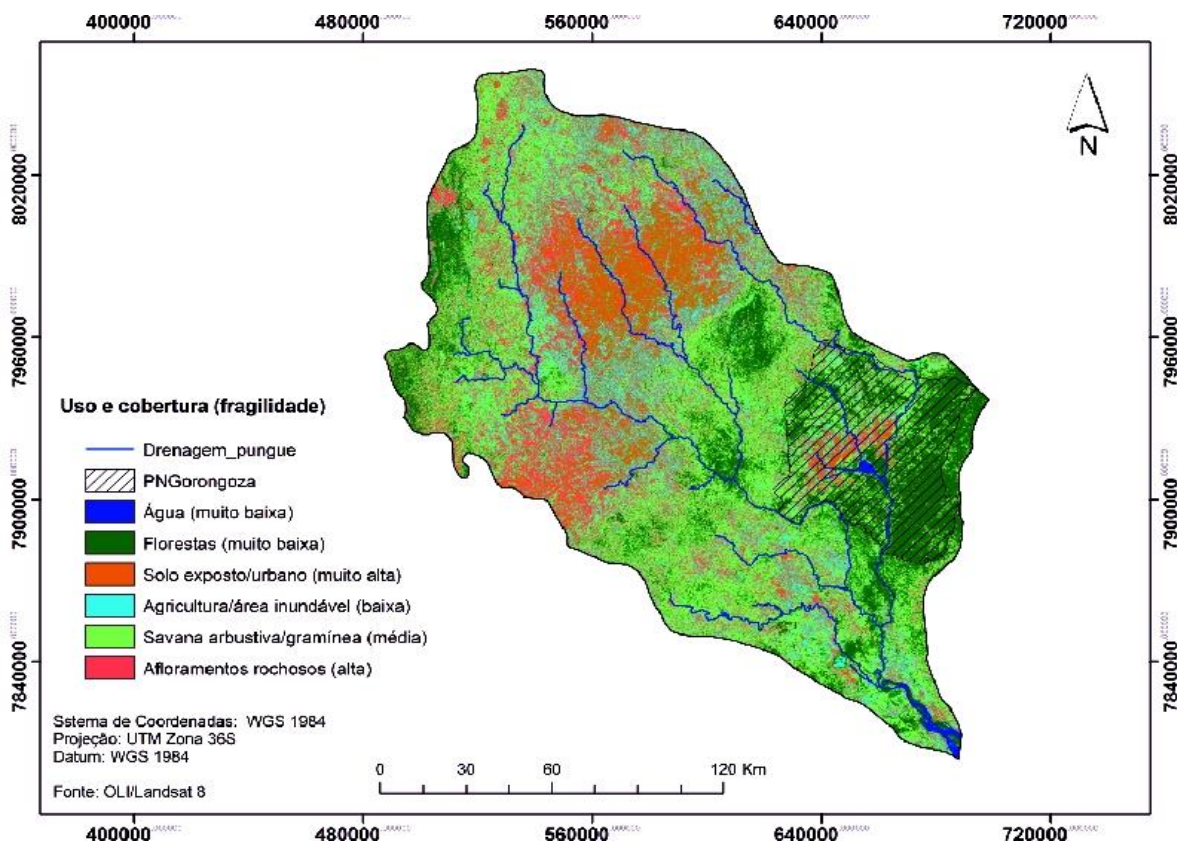


Embora sem dados referentes aos ciclones, importa referenciar que nos últimos tempos, a região centro de Moçambique, onde se enquadra a bacia hidrográfica do rio Púnguè, ocorrem com frequência os ciclones tropicais (ex. ciclone Idai e ciclone Kenneth em 2019, Chalane 2020 e ciclone Eloise em 2021) e as suas anomalias de precipitação e ventos, vem influenciando para degradação dos ecossistemas, pendendo contribuir na elevada susceptibilidade a processos erosivos.

Em relação a fragilidade associada aos usos e cobertura da terra, os resultados obtidos revelam elevada fragilidade em solos expostos que ocorrem com relativa predominância na região central da bacia hidrográfica do rio Púnguè. Importa destacar que os solos expostos que ocorrem ao longo da bacia resultam das acções antrópicas com destaque a prática da agricultura, mineração artesanal e ocupação para habitação.



Mapa 6- Fragilidade na bacia hidrográfica do rio Púnguè em função do uso e cobertura da terra



A sub-região com elevada fragilidade quanto a uso e cobertura da terra na região central da bacia hidrográfica do rio Púnguè coincide com a área de mineração artesanal em Manica, Bárue e Macossa para além de ser uma sub-região com ocorrência de solos com fragilidade que varia de média a alta, tornando a sub-região propícia para ocorrência de processos erosivos.

Os solos expostos que ocorrem ao longo bacia hidrográfica do rio Púnguè, não só estão associadas a processos de ocupação para habitação, prática de agricultura e mineração artesanal, mas também relacionam-se a prática de queimadas descontrolada em parte resultantes da caça furtiva entre outro factores, principalmente nas savanas da parte oriental depressão de Urema e no planalto de Cheringoma.

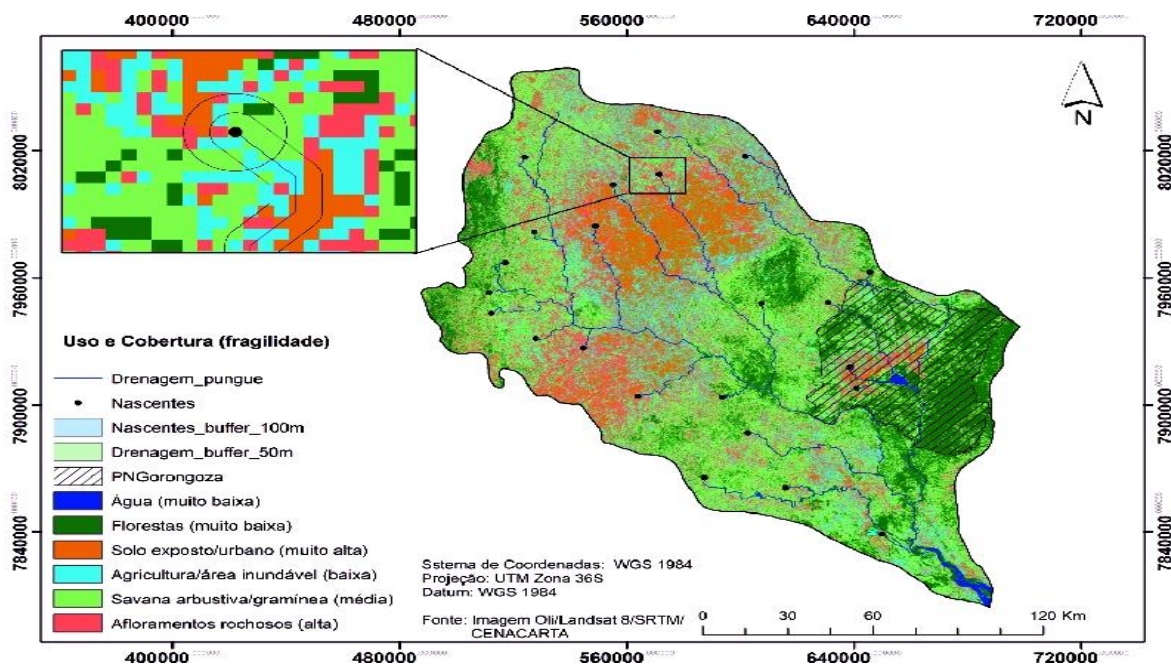
A fragilidade mais baixa coincide com a área de protecção total (Parque Nacional de Gorongosa) embora se registam algumas manchas de áreas com fragilidade elevada no interior parque, correspondendo a área com infra-estruturas.

Conforme a lei terras de Moçambique (Lei nº 19/97 de 1 de Outubro), nas nascentes de rios, a ocupação e os usos de terra só podem decorrer após 100 metros e ao longo das

margens do rio após 50 metros, na medida em que constituem áreas de protecção parcial. Entretanto, os resultados obtidos revelam situações de solo exposto ou com certos usos e ocupações nas nascentes e nas margens dos rios com distâncias abaixo do recomendado pela lei como ilustra o mapa 7

A irregularidade da precipitação ao longo da bacia hidrográfica do rio Púnguè face às mudanças climáticas faz com que no período seco os camponeses se aproximem dos leitos dos rios a procura da humidade e se afastem dele para se proteger das cheias no período das chuvas intensas.

Mapa 7- Buffer de 100 m e 50 m nas nascentes e margens dos rios respectivamente



A ocorrência de alguns usos e ocupação de terra próximo das nascentes e margens dos rios ao nível da bacia hidrográfica do Púnguè influencia na qualidade da água dos rios como testemunha a figura 2.

Figura 1- Marcas de poluição no Rio Nhamacurara associado a mineração artesanal



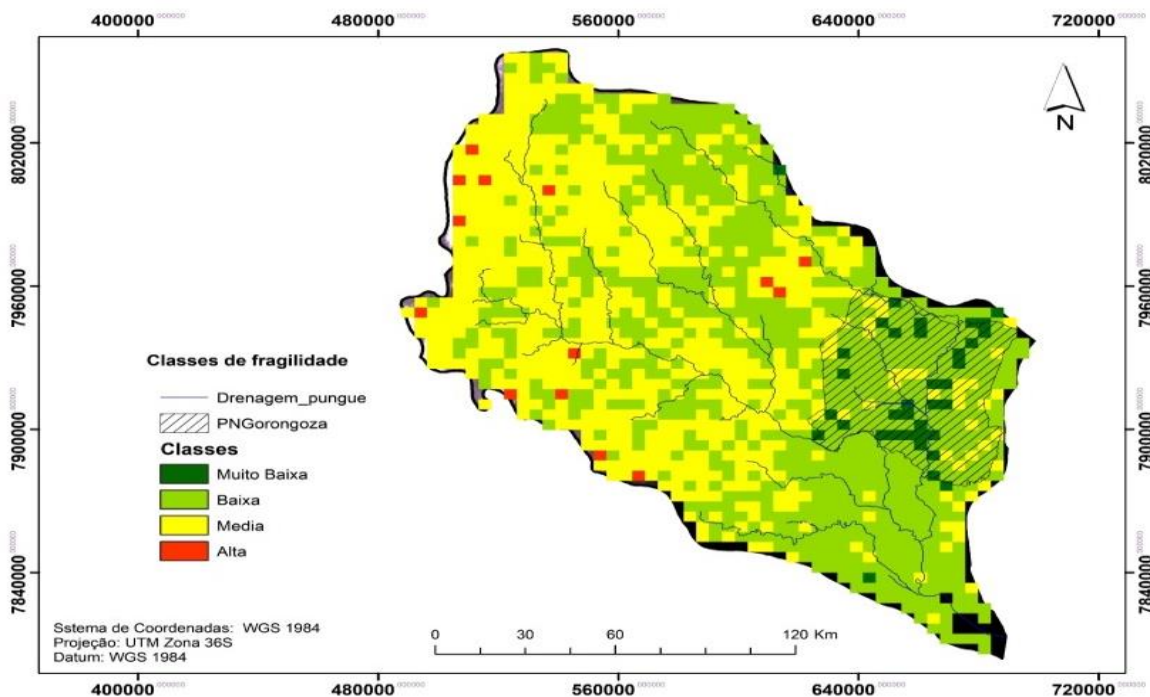
Fonte: ASDI (2005)



Importa destacar que as formações vegetais predominantes nas nascentes e margens dos rios, denominadas mata ciliar ou floresta de galeria, desempenham uma diversidade de funções ecológicas, ao funcionar como esponja que absorve e retêm a água e libera gradativamente tanto para o lençol freático como para o rio e por outro lado, por influenciarem na disponibilidade da qualidade da água em termos da sua qualidade na medida em que forma uma barreira aos sedimentos e da carga de poluentes físicos (diversos tipos de resíduos) e químicos como agro-tóxicos carregados pela água das chuvas, evitando a contaminação da água dos rios.

Na análise global da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Púnguè os resultados revelam que 51,4 % (15266,6 km²) da área da bacia a fragilidade é baixa. No entanto grande parte da bacia com fragilidade baixa corresponde ao extremo oriental, próximo da costa do Índico, justificando-se pela predominância de declividades inferiores a 6%, vertentes com curvatura rectilínea e solos com textura fina, para além da existência da área de conservação total (parque nacional de Gorongosa) e a área da concessão florestal da LevasFlor. Referenciar que a administração do Parque Nacional de Gorongosa tem promovido acções que visam garantir a sustentabilidade na ocupação e usos de terra nas comunidades da área tampão do parque, com destaque a criação de áreas de conservação comunitária e comités de gestão dos recursos naturais.

Mapa 8- Fragilidade ambiental global da bacia hidrográfica do rio Púnguè





A fragilidade muito baixa (numa área correspondente apenas a 2,4 % da bacia) coincide com a área de conservação total (Parque Nacional de Gorongosa), justificando-se pelas particularidades do uso e cobertura da terra e pelas características geomorfológicas e pedológicas.

A área da bacia hidrográfica do rio Púnguè com fragilidade média, constitui a mais predominante após a área com fragilidade baixa, ocupando uma área correspondente a 45,3%. Entretanto, a fragilidade média predomina nas sub-regiões central e ocidental da bacia hidrográfica do rio Púnguè, coincidindo com áreas de predominância de altitudes elevadas, solos com textura arenosa e com solos expostos devido a acções antrópicas.

Tabela 1- Dados estatísticos da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Púnguè

Classificação	Classe	Pixels	%	Área Km2
Muito Baixa	1	747361	2.4	709,6
Baixa	2	16079628	51.4	15266,6
Media	3	14153490	45.3	13437,9
Alta	4	290592	0.9	275,9
Total		31271071	100	29690

Fonte: Os autores

A fragilidade ambiental mais elevada na bacia hidrográfica do rio Púnguè coincide com as sub-regiões mais elevadas no extremo ocidental (sistema montanhoso de Chimanimani com altimetria máxima de 2436 metros no monte Binga, monte Vumba com 1898 metros, monte Inyangani com 2580 metros e monte Ruujini com 1946 metros e na região central na serra de Gorongosa com altitude máxima de 1863 metros, portanto, com classes de declividade acima de 30% e com curvatura das vertentes convexas.

Por outro lado, coincide com área em que precipitação atinge os seus valores máximos ao nível da bacia hidrográfica do rio Púnguè. Na sequencia, a fragilidade ambiental mais elevada na bacia hidrográfica do rio Púnguè também coincide com áreas de ocorrência de solos arenosos, para além de algumas áreas com ocorrência de solos expostos devido a acções antrópicas com destaque a mineração artesanal, portanto, propiciando a elevada fragilidade à processos erosivos.

Importa referenciar que o uso da terra muito intenso e menos regrado pode tornar o ecossistema mais frágil mesmo com os declives inferiores a 6% no caso dos distritos de Nhamatanda e Dondo no baixo Púnguè ao longo do corredor da Beira que apresenta elevada densidade populacional e usos da terra relativamente intensos.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados revelam que grande área (51,4%) da bacia hidrográfica do rio Púnguè a fragilidade é baixa, entretanto, concentrando-se no extremo oriental, justificando-se pelas particularidades geomorfológicas, pedológicas e de uso e cobertura da terra.

A área com fragilidade ambiental média (com 45,3% da área da bacia) afigura-se como a segunda mais predominante, com ocorrência comum no extremo ocidental e central da bacia, coincidindo com áreas de ocorrência de solos arenosos, solos expostos devido a acções antrópicas e declividades acima de 12%.

A fragilidade ambiental mais elevada na bacia hidrográfica do rio Púnguè coincide com as sub-regiões mais elevadas no extremo ocidental e na faixa central, associando também com ocorrência de solos arenosos e expostos, para além de ser áreas que se regista elevada precipitação ao longo da bacia.

Os resultados também revelaram o não cumprimento nas normas preconizadas na lei de terra no que tange as distancias a respeitar na ocupação e usos de terra em relação as nascentes e margens dos rios, afectando a qualidade da água.

Torna-se importante potenciar as medidas de prevenção e de correcção a processos erosivos no extremo ocidental e na faixa central da bacia hidrográfica do rio Púnguè, dadas as particularidade geomorfológicas e pedológicas, associados à acções de exploração de recursos naturais e prática de agricultura de subsistência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Sueca para o Desenvolvimento Internacional (ASDI). Fase II. Cenários de Desenvolvimento da Bacia do Rio Pungué. Volume III. **Relatório Técnico**. Desenvolvimento da estratégia conjunta de gestão integrada dos recursos hídricos da bacia do rio Púnguè. Moçambique, 2005.

ALFERES, Julião et al.; **Monografia da bacia do rio Púnguè**, edição ligeira. Parte do projecto: Desenvolvimento da estratégia conjunta de gestão integrada dos recursos hídricos da bacia do rio Púnguè, Moçambique, 2006.

CHRISTOFOLETTI, António, **Modelagem de sistemas ambientais**, editora Edigar Blucher Ltda., São Paulo, 1999.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979.

LEPSCH, Igo F.; **Formação e conservação dos solos**, Oficina de Textos, São Paulo, 2010.



- MACHADO, José Oliveira e TAMIOZZO, Filipe, **Introdução à Hidrogeografia**, Cengage Learning, São Paulo, 2013
- MUCHANGOS, A. **Moçambique, Paisagens e Regiões Naturais**. Edição: do Autor, 1999.
- NUNES, Flávia Peres e PINTO, Maria Tereza Cândido; Conhecimento local sobre a importância de um reflorestamento ciliar para a conservação ambiental do Alto São Francisco, Minas Gerais, **In revista Biota Neotropica** v7 (n3), 2007, disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v7n3/pt/abstract?article+bn03307032007>
- QUEIROZ, Pedro Henrique Balduino de; Mapeamento de declividade e das tipologias de uso da terra como subsídio ao zoneamento ambiental de um segmento do médio curso da bacia hidrográfica do rio pacoti-ce, **in: Revista Geonorte**, V.8, N.29, p.116-133, 2017. (ISSN 2237 - 1419), Brasil 2017, disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/318825037_MAPEAMENTO_DE_DECLIVIDAD E E DAS TIPOLOGIAS DE USO DA TERRA COMO SUBISIDIO AO ZONEAMEN TO AMBIENTAL DE UM SEGMENTO DO MEDIO CURSO DA BACIA HIDROGR AFICA DO RIO PACOTI-CE](https://www.researchgate.net/publication/318825037_MAPEAMENTO_DE_DECLIVIDAD_E_E_DAS_TIPOLOGIAS_DE_USO_DA_TERRA_COMO_SUBISIDIO_AO_ZONEAMEN_TO_AMBIENTAL_DE_UM_SEGMENTO_DO_MEDIO_CURSO_DA_BACIA_HIDROGR AFICA_DO_RIO_PACOTI-CE)
- RESENDE et al; **Pedologia: base de distinção de ambientes**, 4ª edição, Viçosa –Minas Gerais, 2002
- ROSS, Jurandyr Luciano Sanches; **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**, Laboratório de Geomorfologia-FFLCH/USP, São Paulo, 1994
- ROSS, Jurandyr Luciano Sanches, **Geomorfologia, Ambiente e Planejamento**, Editora Contexto, 9ª edição, 3ª reimpressão, São Paulo, 2019
- SILVA, João dos Santos Vila Da, NEVES, Ronaldo José e CARLINI, Filipe José; Cobertura vegetal e uso da terra versus declividade da Unidade de Planejamento e Gestão do rio Correntes, **In: Revista GeoPantanal**, UFMS/AGB • Corumbá/MS • N. 16 • 77-89 • jan./jun. 2014; disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1001174/1/rioCorrentes.pdf>
- TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira Torres, NETO, Roberto Marques e MENEZES, Sebastião de Oliveira; **Introdução à geomorfologia**, Cengage Learning, São Paulo, 2013