

Meio Ambiente, Paisagem e Qualidade Ambiental

Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo do município de Ivorá - RS

Analysis of natural vulnerability to soil loss in the city of Ivorá RS

Marcus Vinicius Maidana de Andrade^I ,
Franciele Francisca Marmentini Rovani^{II} 

^IInstituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Santa Maria, RS, Brasil

^{II}Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ensino, Santa Maria, RS, Brasil

RESUMO

A análise da vulnerabilidade natural à perda de solo é parte integrante do Zoneamento Ecológico-Econômico do município de Ivorá - RS e considera os processos de morfogênese e pedogênese, a partir da análise integrada de dados do ambiente tais como declividade, geomorfologia, geologia, vegetação, pedologia e uso e cobertura da terra. Nesse sentido, o presente trabalho teve como propósito coletar, analisar e processar dados do município de Ivorá, localizado na região central do estado do Rio Grande do Sul, a fim de gerar informações úteis para o planejamento e gestão territorial. Para tanto, criou-se um banco de dados espaciais em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas com auxílio do software Spring versão 5.5. Utilizou-se de técnicas de análise espacial com destaque para a estatística zonal e a calculadora raster. Como resultado, síntese da integração das informações de geologia, geomorfologia, pedologia, uso e ocupação da terra e declividade, destaca-se o mapa de vulnerabilidade à perda de solo. No município foram identificadas classes de unidades moderadamente estáveis com predomínio dos processos formadores do solo e unidades moderadamente vulneráveis, prevalecendo os processos erosivos. Porém, a classe que apresentou maior predominância em relação à área total pode ser considerada intermediária, onde existe o equilíbrio da relação pedogênese/morfogênese.

Palavras-chave: Vulnerabilidade natural; Gestão territorial; Sistemas de Informações Geográficas

ABSTRACT

The analysis of natural vulnerability to the soil loss is integrated part of economical ecological zoning and it considers the processes of morphogenesis and pedogenesis through the integrated data analysis from the environment such as: declivity; geomorphology; geology; vegetation; pedology and land use and land cover. In this way, the purpose of the present work was to collect, analyze and process data from Ivora city, located in the central area of the state of Rio Grande do Sul, in order to generate useful information for the territorial planning and management. For this purpose, a spatial database was created in an

environment of Geographic Information System using the Spring software 5.5 version. Spatial analyses techniques were used with emphasis on the zonal statistics and the Raster Calculator tool. As a result, the syntheses of the information integration from geology, geomorphology, pedology, the use and occupation of the land and declivity, the map of vulnerability to soil loss is emphasized. In the city, classes of units moderated stable were found with the predominance of soil formation processes and units moderately vulnerable units with erosive processes predominating. However, the class that represented more predominance in relation to total area can be considered intermediate, were there are equilibrium from pedogenesis /morphogenesis relation.

Keywords: Natural vulnerability; Territorial management; Geographic Information System

1 INTRODUÇÃO

A utilização de instrumentos técnicos como o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), mostra-se importante a partir da necessidade de obter informações que detalhem as características naturais e socioeconômicas dos territórios, propiciando planejar e implantar ações locais. O uso desse instrumento possibilita a geração de cartas de vulnerabilidades natural à perda de solo e de potencial social, que por sua vez, fornecem informações importantes ao ZEE.

Segundo Goldemberg e Lucon (2008), o meio ambiente no qual vivemos muda continuamente devido a causas naturais, sobre as quais se tem pouco controle. Associado a isto, tem-se presenciado consideráveis mudanças no ambiente causadas pela ação do homem. Esta dinâmica espacial e temporal merece ser analisada e representada para fins de auxílio, especialmente aos gestores territoriais, quando do planejamento e ordenamento territorial.

A necessidade de aprimorar metodologias voltadas à análise de desenvolvimento territorial trouxe novas perspectivas, considerando que esse desenvolvimento deriva também de fatores políticos, sociais, ambientais e institucionais. Além disto, dentro de um mesmo contexto geográfico, pode-se perceber diferenças nas áreas, o que comprova as diversidades existentes em cada espaço (CARVALHO, *et al.*, 2011). Segundo Steinberger e Romero (2000), o Zoneamento Ecológico-Econômico consiste na busca de indicadores que

expressam a associação apropriada entre as diversas variáveis que compõem as dimensões que orientam o desenvolvimento territorial.

De acordo com o MMA (2021) o ZEE é um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente regulamentado pelo decreto nº 4.297/2002 e tem como objetivo viabilizar o desenvolvimento sustentável a partir da compatibilização do desenvolvimento socioeconômico com a proteção ambiental. O ZEE possibilita a análise das características e condições territoriais do meio ambiente e sua situação socioeconômica, tornando possível o planejamento equilibrado de suas ocupações e do uso dos recursos naturais de forma sustentável. Ross (2009) salienta ainda, que o ZEE torna-se um importante instrumento para subsidiar a formulação de políticas territoriais e como suporte ao processo de ordenamento territorial.

Neste sentido, diversas metodologias foram desenvolvidas, sendo que a metodologia concebida foi primeiramente aplicada à Amazônia Legal e ao longo dos anos, vem sendo aplicada e aprimorada em distintos espaços geográficos. Resultado do ZEE tem-se a integração de aspectos naturais, por meio da avaliação da vulnerabilidade natural, e integração de aspectos sociais e econômicos, considerando a potencialidade social. A análise da vulnerabilidade natural da paisagem, segundo Becker e Egler (1996), é baseada no princípio de ecodinâmica de Tricart (1977) e considera os processos de morfogênese e pedogênese a partir da análise integrada dos temas de geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima.

No ZEE desenvolvido para o município de Silveira Martins, os autores Rovani e Viera (2017) destacam a importância deste instrumento para a definição de zonas estratégicas de planejamento, com ênfase para a análise de vulnerabilidade natural à perda de solo que apresentou o predomínio de áreas medianamente estáveis/vulneráveis (53,67%), demonstrando um equilíbrio entre a pedogênese e a morfogênese. De encontro a esta perspectiva, na análise realizada para o

município de Barão de Cotegipe-RS, Rovani *et al.* (2015), também identificaram o predomínio de áreas mantendo o equilíbrio natural do meio (72,53% da área territorial).

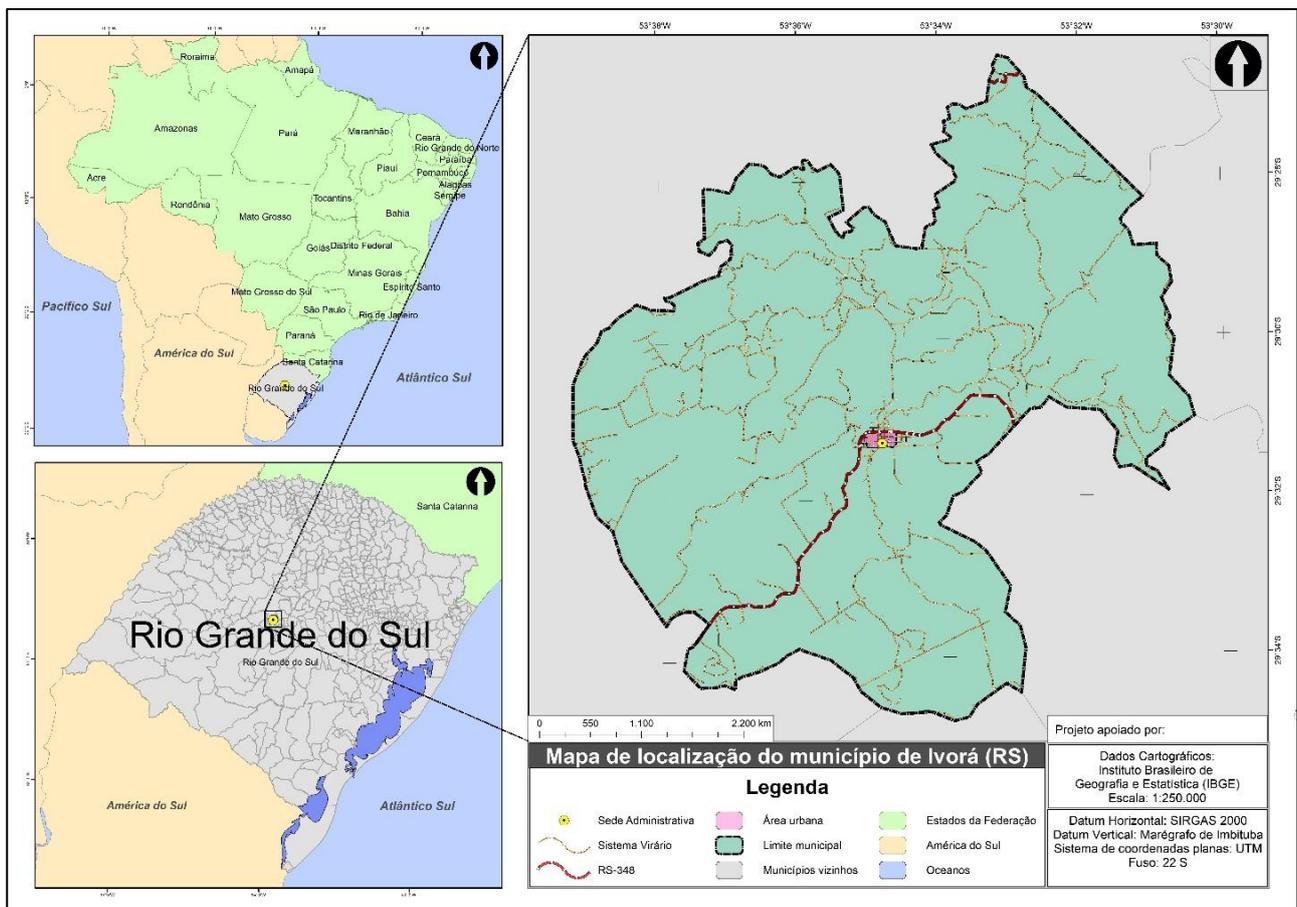
Colaborando para os estudos de análise ambiental, Dellargine *et al.* (2020) destacam que a crescente ocupação de forma desordenada e desigual nos municípios brasileiros tem desencadeando desequilíbrios nos sistemas ambientais, gerando problemas de ordem funcional e estrutural no meio. Os autores citados desenvolveram uma análise da vulnerabilidade natural do município de Inconfidentes – MG e verificaram que 66% do território apresentou baixo grau de vulnerabilidade. Em outro estudo de análise da vulnerabilidade à perda de solo aplicado a uma bacia hidrográfica, Igawa e Maciel (2018), evidenciaram, predominantemente, áreas consideradas moderadamente estáveis na bacia e destacam a importância das geotecnologias para esta análise.

Ressalta-se a importância destes estudos, que se fundamentam na análise do ambiente a partir de informações naturais e físicas do ambiente em uma mesma base cartográfica com auxílio dos Sistemas de Informações Geográficas. Além disto, merece ênfase as análises multicritérios que permitem modelar o ambiente permitindo a simplificação da complexidade espacial, por meio da seleção das principais variáveis que caracterizam um fenômeno e podem ser organizadas em camadas de informação com resolução espacial definida (MOURA, 2007).

Deste modo, o objetivo principal desta pesquisa consistiu em analisar a vulnerabilidade natural do município de Ivorá - RS. Este estudo, é de suma importância para a implementação do ZEE municipal, que ainda se encontra em fase de planejamento, pois, possibilita representar cartograficamente os aspectos naturais e nortear os planejadores municipais quanto a decisões a serem tomadas para gerenciamento do território.

O município de Ivorá foi fundado em 09 de maio de 1988 e está situado na região central do estado do Rio Grande do Sul, ficando aproximadamente 52 km da cidade de Santa Maria e a 360 km da capital do estado, Porto Alegre (Figura 1). O município possui 122,9 km² de área e uma população estimada de 1854 (IBGE, 2021).

Figura 1 – Mapa de localização do município de Ivorá - RS



Fonte: Autores (2022)

Seu limite territorial abrange os biomas Mata Atlântica e Pampa. As paisagens que compõem o cenário de Ivorá, despertam interesse para aqueles que procuram por lazer, haja vista que a região é beneficiada por cachoeiras e vegetação densa, o que torna o município um local com pontos turísticos atrativos para a população regional, entre eles: a Cascata do Cara do Índio; Cascata Queda-Livre; Cascata das Pedras Pretas; Cascata dos Degraus; Casa Alberto Pasqualini;

Casa de Arquitetura Italiana; Casa Museu; Conjunto da Matriz; Cruz Luminosa; Monte Grapa.

2 MATERIAIS E MÉTODO

Para realização desta pesquisa, coletaram-se dados vetoriais e matriciais e elaborou-se um banco de dados em Sistemas de Informações Geográficas com auxílio do aplicativo Spring 5.5. As bases vetoriais em formato *shapefile* compostas pelas curvas de nível e rede viária, foram adquiridas através do banco de dados do Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em escala 1:50.000. Estas bases permitiram a elaboração dos mapas de hipsometria e de declividade. Os mapas temáticos contendo os temas geologia (IBGE, 2003a), geomorfologia (IBGE, 2003b) e pedologia (IBGE, 2003c), foram obtidos por meio de *download* no site do IBGE, na escala 1:250.000, na extensão *shapefile*.

Utilizou-se uma imagem do satélite Sentinel 2, adquirida na plataforma Earth Explorer da USGS, possuindo 10 metros de resolução espacial, e as bandas 3 (vermelha), 4 (verde) e 8 (infravermelho próximo). Com a imagem de satélite delimitou-se as Unidades Territoriais Básicas (UTBs), bem como elaborou-se o mapa de uso e cobertura da terra. Utilizando a técnica de classificação supervisionada, coletou-se pixels amostrais para cinco classes distintas, entre elas: área reflorestada; corpo d'água; área agrícola; mata nativa; campo. A representação da área urbana na classificação da imagem seguiu representada pelo limite obtido pelo IBGE.

Na análise da vulnerabilidade natural à perda de solo, observou-se a metodologia proposta por Crepani *et al.* (1996; 2008). Esta metodologia está baseada no princípio da ecodinâmica de Tricart (1977) no qual é possível realizar a análise morfodinâmica das unidades de paisagem natural relacionando os processos de morfogênese ou pedogênese. Quando predomina a morfogênese

têm-se os processos erosivos, que alteram as formas do relevo, e quando os processos de pedogênese predominam, prevalecem os processos formadores de solo.

De acordo com a metodologia, identificam-se inicialmente as UTBs, que são áreas relativamente homogêneas, com base na imagem de satélite. Para Becker e Egler (1996) as UTBs são como células primordiais de informação, necessárias para que seja realizada a análise das zonas. As unidades são entidades geográficas que possuem atributos ambientais, que permite sua diferenciação quando comparadas as suas vizinhas, de forma que também dispõem de vínculos dinâmicos que articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades. Nesse sentido, foi realizada a interpretação da imagem e identificaram-se as UTBs a partir da interpretação de padrões fotográficos como: cores, texturas, formas, padrões de drenagem e relevo.

De posse das UTBs e dos mapas temáticos de declividade, geologia, geomorfologia, pedologia e uso e cobertura da terra realizou-se a ponderação dos temas segundo a classificação do grau de vulnerabilidade ou estabilidade das unidades segundo as relações de morfogênese e pedogênese. A vulnerabilidade/estabilidade das unidades foi expressa pela atribuição de valores em uma escala de um a três para cada unidade de paisagem (Tabela 1):

Tabela 1 – Avaliação da estabilidade ou vulnerabilidade das unidades de paisagem de acordo com a relação pedogênese/morfogênese

Unidade	Relação Pedogênese/morfogênese	Peso
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio entre a pedogênese e a morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Fonte: Crepani *et al.* (1996), modificada de Tricart (1977)

Para a definição e atribuição dos valores de vulnerabilidade/estabilidade de cada classe temática, fez-se necessário seguir alguns critérios propostos por

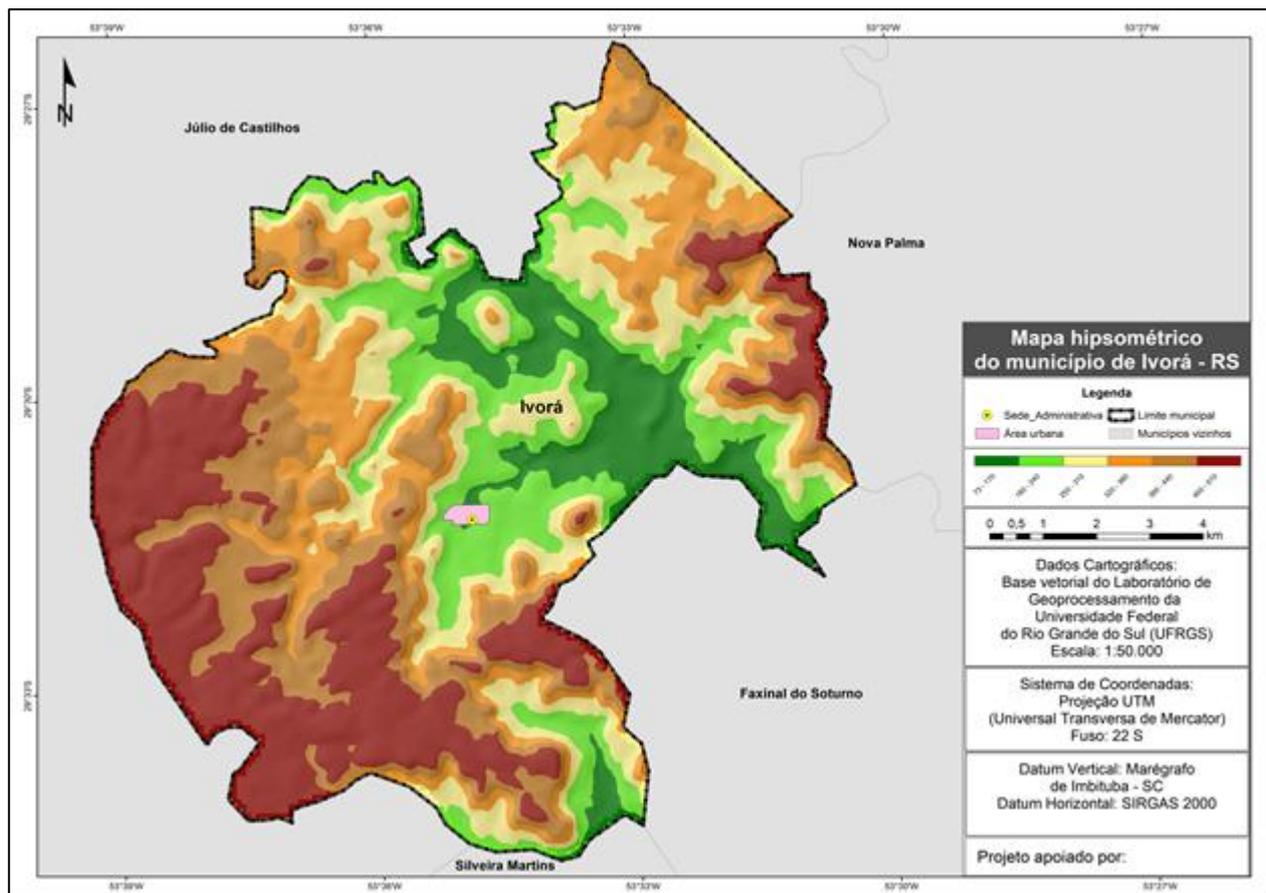
Crepani *et al.* (1996, 2008): geomorfologia - formas do relevo e os índices morfométricos referentes à dissecação do relevo pela drenagem e amplitude altimétrica; geologia - história e evolução do ambiente geológico (grau de coesão das rochas); solos - considerou-se o grau de desenvolvimento dos solos (processos de formação de solos ou de relevo); declividade - grau de inclinação do relevo e vegetação/uso e cobertura da terra - observou-se os tipos de uso e a densidade da cobertura vegetal.

Deste modo, as classes temáticas de cada mapa foram substituídas pelos valores expressos de um a três. Na sequência, utilizando a Linguagem de Programação Algébrica espacializou-se cada tema, com base nas UTBs, utilizando o operador maioria zonal. A integração final, síntese das informações e resultado de uma média dos temas, foi apresentada no mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo com nove classes, conforme a paleta de cores e unidades propostas na metodologia. As unidades mais estáveis apresentam valores próximos a 1,0, as intermediárias, próximos a 2,0 e as unidades mais vulneráveis, valores próximos a 3,0, considerando a análise da ecodinâmica de Tricart (1977).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O município de Ivorá apresenta uma amplitude altimétrica de 450 metros estando situado entre as cotas de 60 a 510 metros (Figura 2). Conforme esperado, a região que possui as menores elevações que se concentram ao entorno do rio Mello, partindo da fronteira com o município de Júlio de Castilhos, transcendendo a área de Ivorá até sua divisa com Faxinal do Soturno. No que se refere às regiões com maiores elevações, pode-se observar que essas áreas, concentram-se na parte oeste do município, onde a agricultura se mostra intensificada e o relevo mostra-se menos irregular, variando de plano até suave ondulado. Ao limite leste, também podem ser verificadas elevações significativas.

Figura 2 – Mapa hipsométrico do município de Ivorá – RS



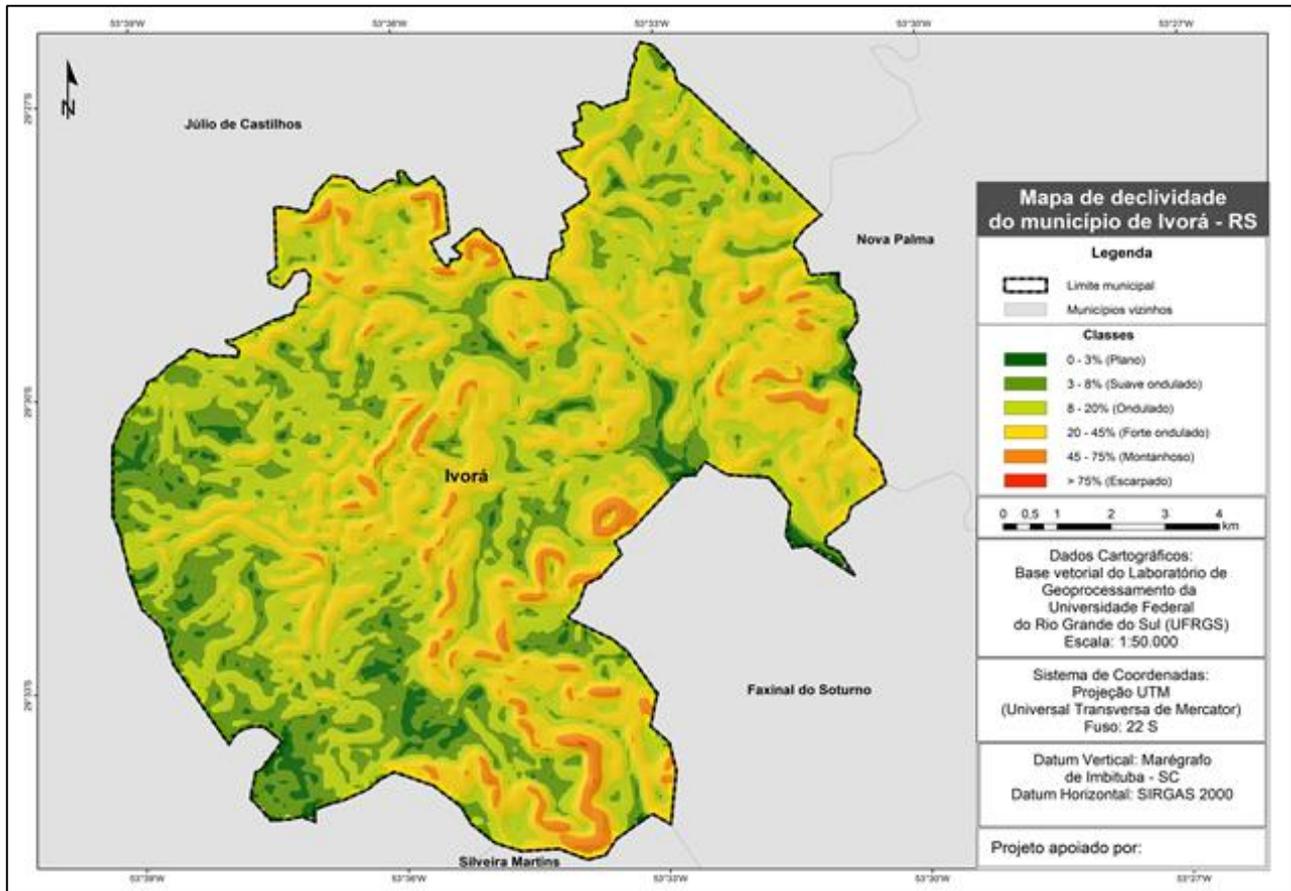
Fonte: Autores (2022)

O mapa da declividade (Figura 3) é apresentado contendo seis classes, conforme modelo proposto pela Embrapa (1979). A partir dessas classes, é possível observar que existe poucas ocorrências de declividades acima de 75%, estando presente somente ao limite norte, que faz divisa com o município de Júlio de Castilhos. Para a classe de relevo montanhoso, com valores de 45 até 75% de declividade, essas ocorrências são mais significativas nas encostas de terrenos mais elevados, possuindo assim um relevo mais acentuado.

As duas classes que predominam na área do município, como pode ser observado na Tabela 2, são respectivamente, forte ondulado (36,26%), com valores variando de 20% até 45% de declividade e plano ondulado (32,25%), no intervalo de 8% a 20% de declividade. A ocorrência dessas classes pode ser observada, em sua maioria, ao longo do entorno das redes de drenagem, devido a sua inclinação intermediária que colabora com o escoamento d'água em direção aos cursos de

drenagens. Por fim, as classes de declividade suavemente ondulado no intervalo de 3% até 8% e de relevo plano (0-3%), estão mais frequentes em locais com altitudes mais elevadas, essas áreas normalmente contendo nascentes.

Figura 3 – Mapa de declividade do município de Ivorá - RS



Fonte: Autores (2022)

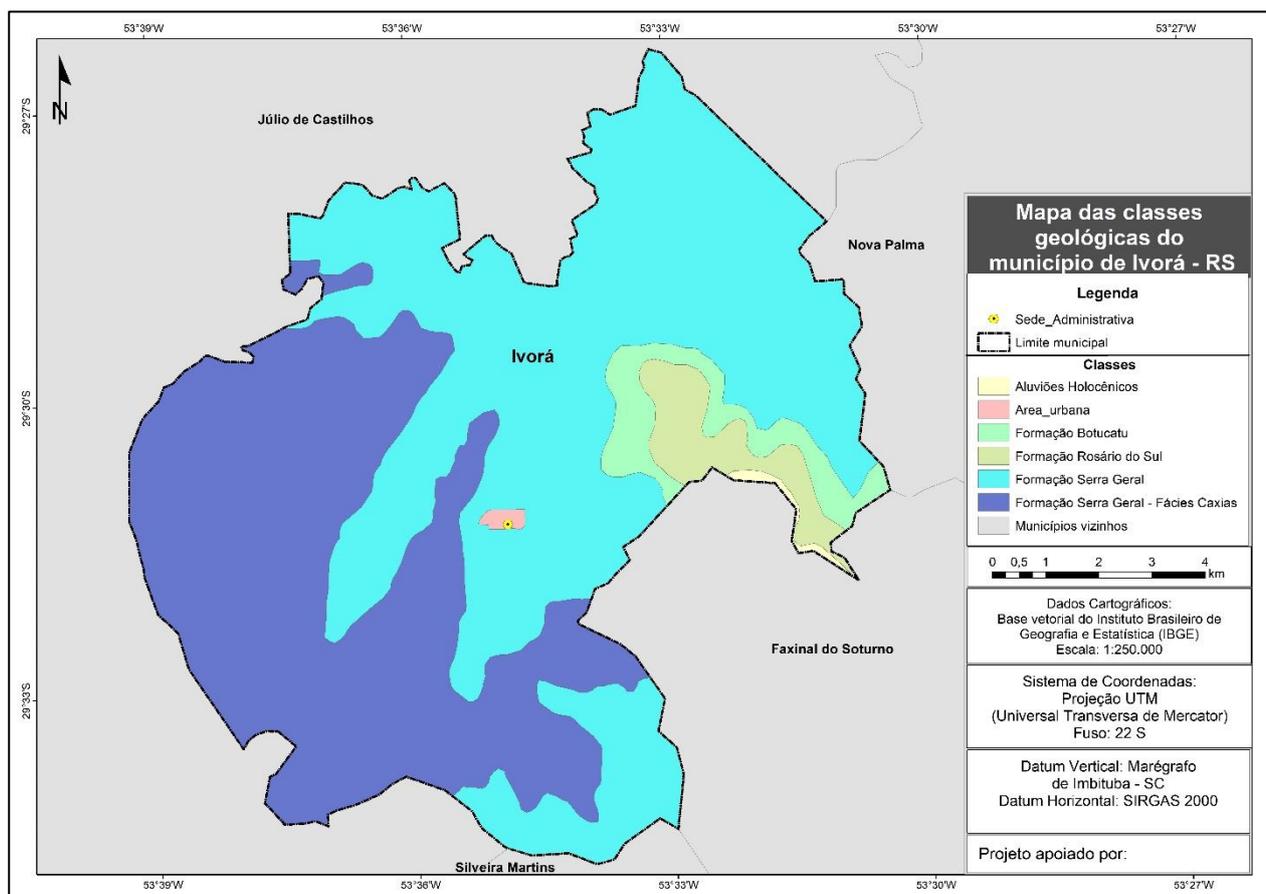
Tabela 2 – Classes de declividade, percentual de ocupação e pesos de estabilidade/vulnerabilidade

Classes de declividade	Percentual de ocupação (%)	Estabilidade/vulnerabilidade
Relevo plano (0 - 3%)	11,93	1,0
Suave ondulado (3 - 8%)	14,87	1,4
Plano ondulado (8 - 20%)	32,25	1,8
Forte ondulado (20 - 45%)	36,26	2,2
Montanhoso (45 - 75%)	4,63	2,6
Escarpado (>75%)	0,06	3,0

Fonte: Organização dos autores

No mapa de geologia (Figura 4), verificaram-se cinco classes de formação geológica e o seu percentual de ocupação, bem como os valores atribuídos na escala de vulnerabilidade/estabilidade podem ser observados na Tabela 3. Destacam-se, por sua predominância em relação à área do município, as classes de Formação Serra Geral (51,06%) e Formação Serra Geral - Fácies Caxias (40,77%). A primeira predomina na porção norte do município e a segunda, na porção sudoeste. Essas classes estão ausentes somente em uma porção no sudeste de Ivorá, onde as elevações são menores e existe a presença do Rio Mello, próximo ao limite do município com Faxinal do Soturno, e podem ser verificadas as classes geológicas da Formação Botucatu (3,88%), Formação Rosário do Sul (3,48%) e Aluviões Holocênicos (0,33%), dadas em com menor ocorrência.

Figura 4 – Mapa de geologia do município de Ivorá – RS



Fonte: Autores (2022)

Tabela 3 – Classes de formação geológica, percentual de ocupação e pesos de estabilidade/vulnerabilidade

Classes geológicas	Coluna 2	Coluna 3
Formação Serra Geral	51,06	1,2
Formação Serra Geral – Fácies Caxias	40,77	1,2
Formação Botucatu	3,88	2,8
Formação Rosário do Sul	3,48	2,5
Aluviões Holocênicos	0,33	3,0
Área urbana	0,23	1,2

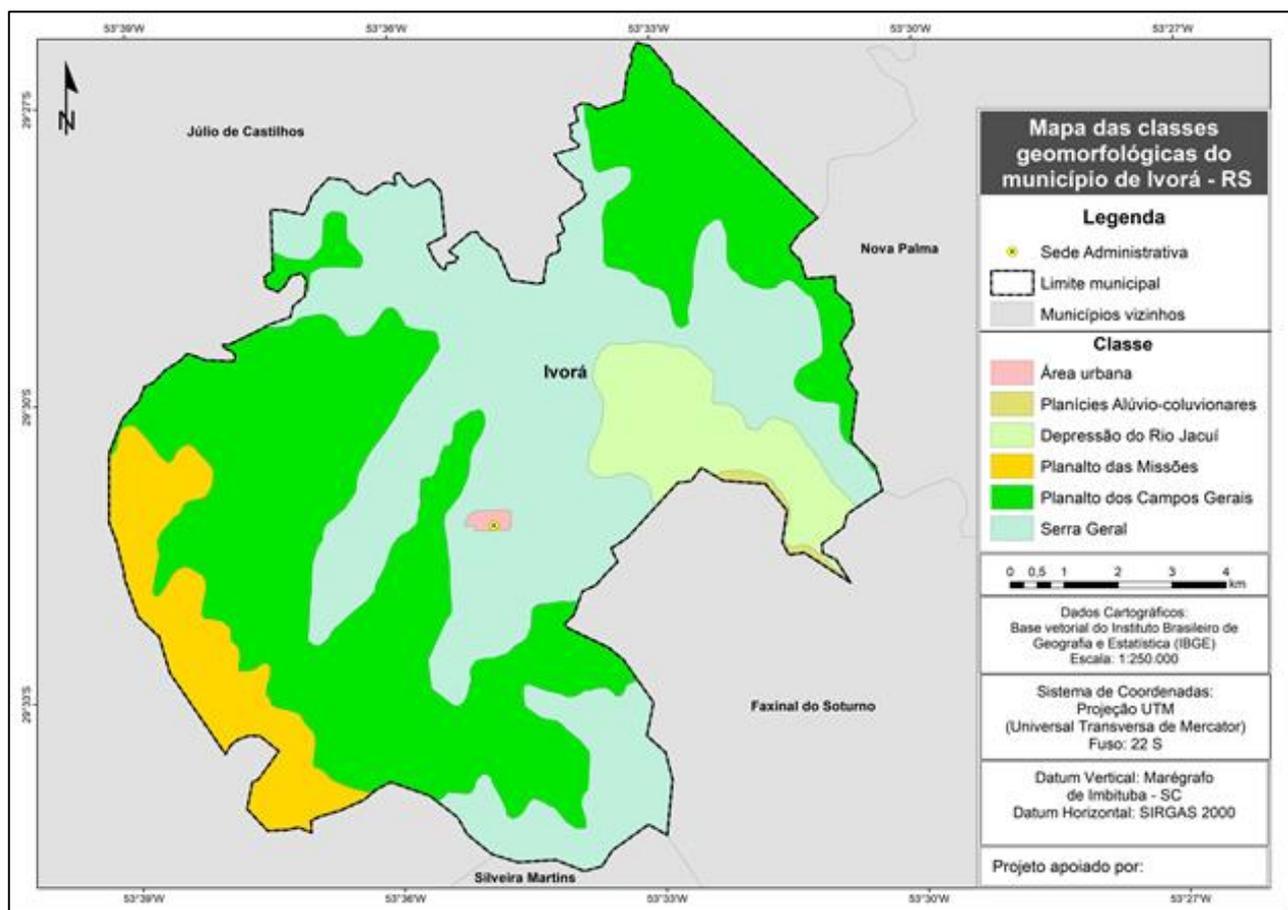
Fonte: Organização dos autores

De acordo com IBGE (2003a), a Formação Serra Geral (JKsg) é caracterizada por apresentar rochas efusivas básicas, sendo comumente basalto e fenobasaltos. É constituída também por riolitos felsíticos, riodacitos felsíticos dacitos felsíticos e seus correspondentes termos cítreos. Por sua composição é considerada mais estável na análise da vulnerabilidade/estabilidade, pois favorece os processos de morfogênese. No que se refere à Formação Botucatu (Jb), é constituída por arenitos de coloração avermelhada, rósea e amarelo-claro, finos médios, feldspáticos, bimodais que possuem grãos arredondados e foscas. Apresentando estratificação cruzada tangencial de grande porte, tendo sido depositados por ação eólica em ambiente desértico (IBGE, 2003a). Por suas características é considerada mais vulnerável, contribuindo para os processos de pedogênese.

A Formação Rosário do Sul (Rrs) é composta por arenitos médios a finos, siltitos argilosos e lamitos, contendo cores vermelhas, branca, cinza-amarelo e castanho-avermelhada (IBGE, 2003a). A sequência em geral apresenta aspectos de deposição em ambiente fluvial, com depósitos lacustres intercalados. Na análise de vulnerabilidade, esta classe é considerada moderadamente vulnerável. Por fim, os depósitos aluvionares (QHa), que são compostos de areia, cascalheiras e sedimentos siltico-argiloso de planície de inundação, terraços e depósitos de calha da rede fluvial atual e subatual, representam a classe mais vulnerável, favorecendo os processos modificadores dos solos.

Para as classes apresentadas no mapa de geomorfologia do município (Figura 5) e a partir da tabela 4, é possível verificar que duas classes geomorfológicas possuem maior ocorrência no município. As classes Planalto dos Campos Gerais (43,17%), que compõe grande parte do relevo centro-oeste do município, e outra porção a leste e nordeste, e o relevo Serra Geral (40,94%), que se estende pela parte central, de sul a norte e uma parcela mais ao sudoeste. O Planalto das Missões (8,2%) destaca-se, na porção sudoeste de Ivorá, que se estende ao longo da divisa municipal com o município de Júlio de Castilhos. No que se refere à Depressão do Rio Jacuí (7,12%) e Planícies Alúvio-Coluvionares (0,33%), essas classes, com menor ocorrência, fazem-se presentes na região de baixa elevação do município, ao entorno do Rio Mello.

Figura 5 – Mapa de geomorfologia do município de Ivorá – RS



Fonte: Autores (2022)

Tabela 4 – Classes de geomorfologia, percentual de ocupação e pesos de estabilidade/vulnerabilidade

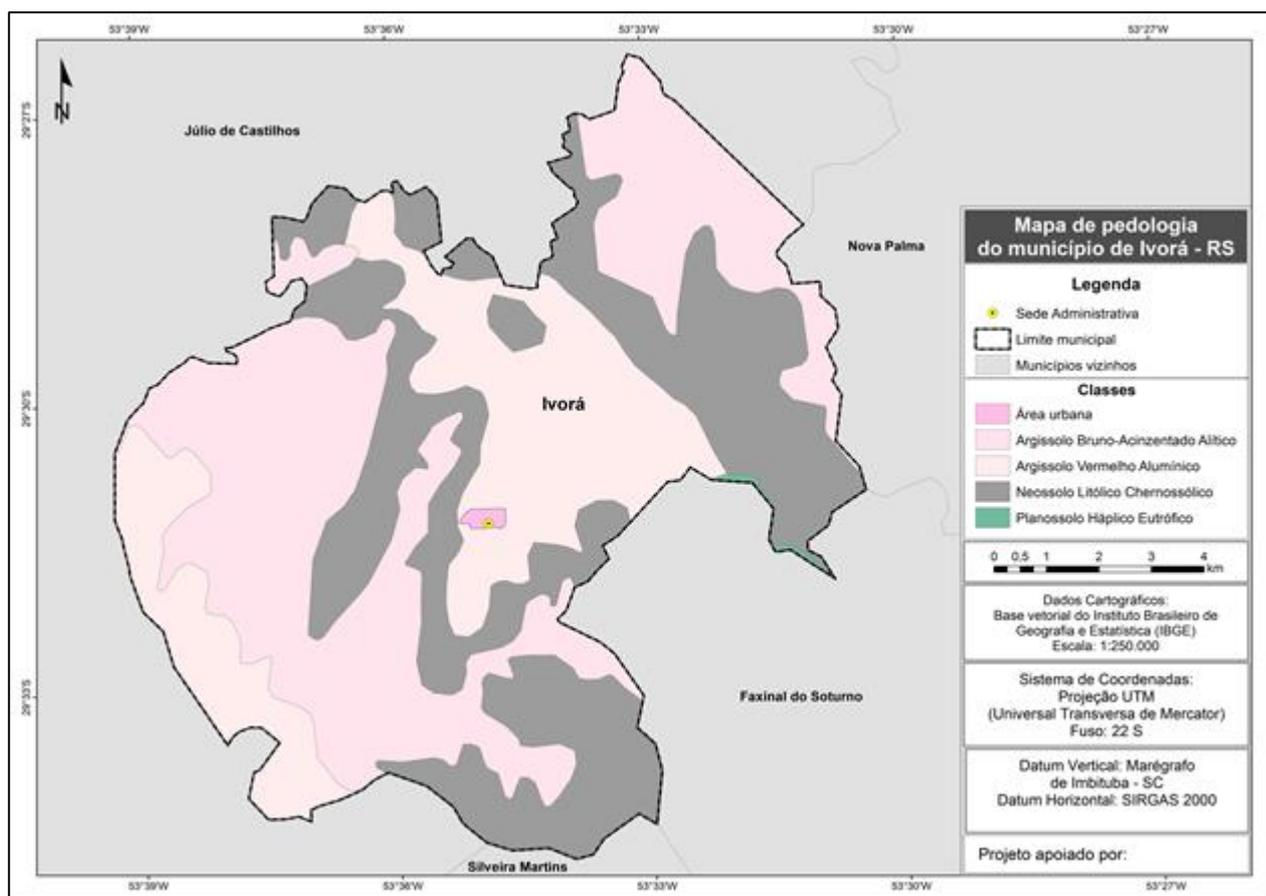
Classes geomorfológicas	Percentual de ocupação (%)	Estabilidade/vulnerabilidade
Planalto dos Campos Gerais	43,17	2,6
Serra Geral	40,94	2,7
Planalto das Missões	8,20	2,1
Depressão do Rio Jacuí	7,12	2,4
Planície Alúvio-Coluvionares	0,33	1,6
Área urbana	0,23	2,6

Fonte: Organização dos autores

Com base nas informações geomorfológicas representadas no mapa, relativas aos tipos de relevos que compõem o município, as planícies caracterizam-se por dispor de formas de relevo planas ou suavemente onduladas, de maneira geral situadas nas áreas de baixa elevação (IBGE, 2003b). Nessa classe os processos de sedimentação superam os de erosão e por isso foram consideradas mais estáveis de acordo com o grau de vulnerabilidade/estabilidade. As depressões, constituem-se por conjuntos de relevos planos ou ondulados, que se localizam abaixo do nível das regiões vizinhas, compostos por rochas de classes variadas. Essa classe foi considerada moderadamente vulnerável. Planaltos possuem formas de relevos planos ou dissecados, com altitude elevada, limitados pelo menos em um lado, por superfícies menos elevadas, onde prevalecem os processos de erosão. Por fim, as serras são dadas por relevos acidentados, elaborados por variações de rochas, que formam cristas e cumeadas ou as bordas escarpadas de planaltos. Esta classe foi considerada mais vulnerável no município.

O mapa de pedologia apresenta quatro classes de solo, que pode ser observado na figura 6. Os valores percentuais e os pesos determinados para cada classe são apresentados na Tabela 5.

Figura 6 – Mapa de pedologia do município de Ivorá – RS



Fonte: Autores (2022)

Tabela 5 – Classes de pedologia, percentual de ocupação e pesos de estabilidade/vulnerabilidade

Classes de pedologia	Percentual de ocupação (%)	Estabilidade/vulnerabilidade
Argissolo bruno-acinzentado alítico	31,02	2,0
Neossolo litólico chernossólico	39,68	3,0
Argissolo vermelho aluminíco	28,02	2,0
Planossolo háptico eutrófico	1,22	2,0
Área urbana	0,23	3,0

Fonte: Organização dos autores

De acordo com a figura 6 e a tabela 5 pode-se verificar que três classes mantem-se divididas tanto em sua localização ao decorrer da extensão municipal quanto em valor percentual em relação a área total, sendo elas: Neossolo Litólico Chernossólico (39,68%), que divide-se nas regiões centro-oeste e leste; Argissolo

Bruno-Acinzentado Alítico (31,02%), destaca-se na parte leste e mais a centro-oeste, estendendo-se de sul a norte; Argissolo Vermelho Alumínico (28,02%) mantém-se predominante na região central e uma parcela na parte oeste, ao longo do limite municipal que faz divisa com Júlio de Castilhos. A classe Planossolo Háptico Eutrófico (1,22%), tem baixa ocorrência comparado as demais, localizando-se a sudeste, onde o limite faz fronteira com Faxinal do Soturno.

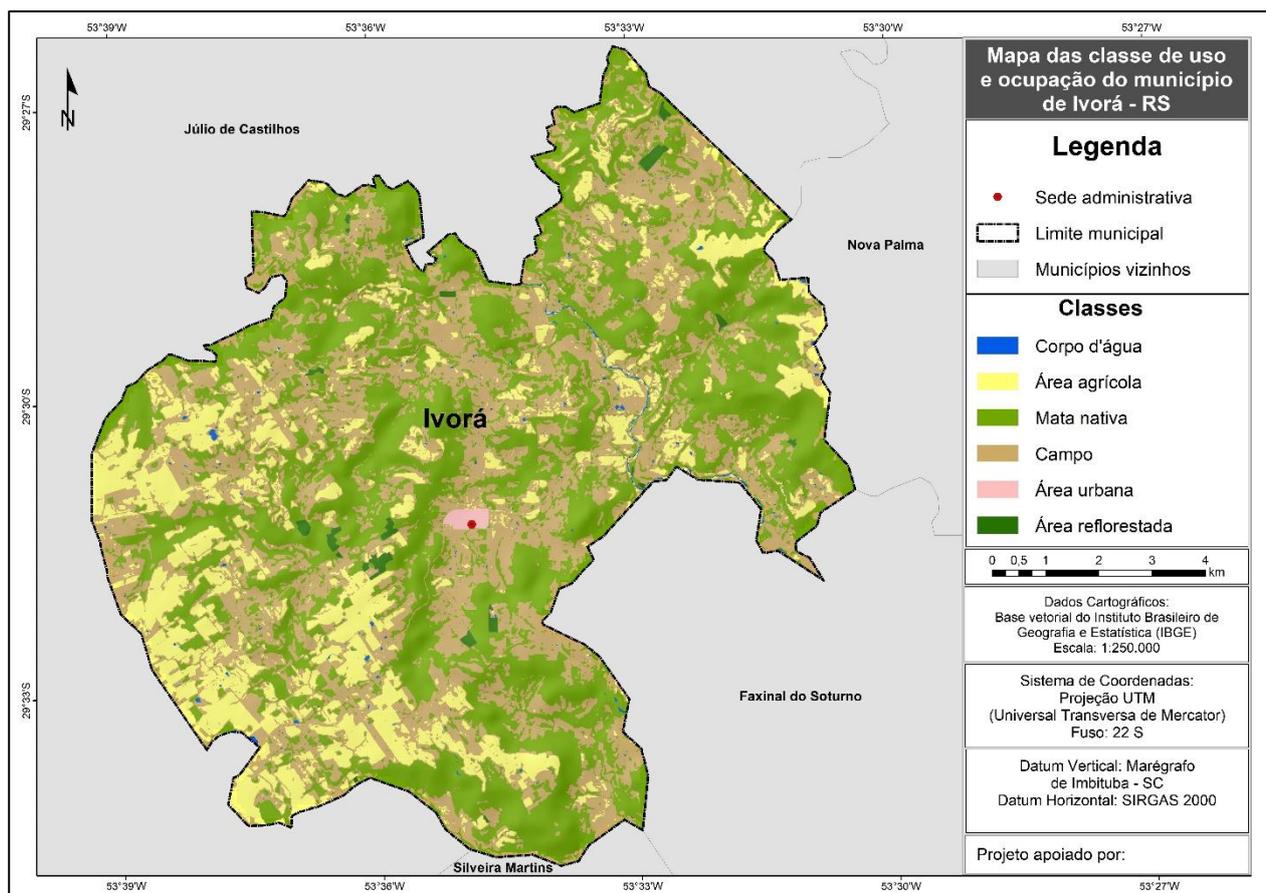
Os Argissolos, constituem-se de material mineral, que apresentam horizonte B textural estando abaixo dos horizontes A e E, com argila de atividade baixa, ou de atividade alta, desde que seja conjugada com saturação por bases baixas ou com carácter alumínico, na maior parte do horizonte B (EMBRAPA, 2006). Esta classe foi considerada moderadamente vulnerável/estável, mantendo um equilíbrio entre a morfogênese e a pedogênese. Ainda segundo EMBRAPA (2006) os Neossolos, caracterizam-se por serem solos pouco evoluídos, formados por material mineral ou orgânico, possuindo menos de 20 cm de espessura, sem apresentar horizonte B e os Planossolos, constituem-se por material mineral de horizonte A e E, seguidos por horizonte B plânico. Devido a estas características, esta classe foi considerada vulnerável, favorecendo os processos modificadores das formas de relevo.

Em relação ao mapa de uso e cobertura da terra (Figura 7), destacam-se seis classes, sendo que os pesos de vulnerabilidade atribuídos a cada classe e sua área de ocupação são apresentados na tabela 6.

A classe de vegetação nativa merece destaque, pois, representa 44% da área territorial, isto é, o maior percentual de ocupação em relação à área total. É possível observar que essa classe está presente na maioria das regiões do município, exceto na região oeste, onde as áreas de agricultura são intensificadas. As áreas de campo (38,3%) acompanham, em sua maioria, os entornos nas vegetações nativas, que por sua vez, mostram-se também menos presentes ao oeste. Devemos considerar nessa análise que, as áreas agrícolas (16,5%),

correspondem não somente aos diferentes tipos de culturas presentes no município, mas também, os solos expostos verificados na área, que devido a data de obtenção da cena, em 23 de março de 2019, estão possivelmente sem plantios. Quanto aos corpos d'água (0,37%), estes se referem tanto aos lagos e açudes particulares quanto aos córregos e cursos d'água observados. As áreas reflorestadas (0,62%) são mais intensas em regiões próximas a área urbana e compreendem principalmente cultivos de eucaliptos. Por fim, com menor percentual de ocupação, a área urbana (0,23%), que corresponde ao limite administrativo do IBGE, destaca-se na região central de Ivorá.

Figura 7 – Mapa de uso e cobertura da terra do município de Ivorá – RS



Fonte: Autores (2022)

De acordo com a tabela 6 classificou-se as classes de área agrícola e de área urbana mais vulnerável, pois indicam maior interferência antrópica no meio e

ausência de vegetação. As classes de campo e de reflorestamento indicam áreas moderadamente vulneráveis. Já, a classe de vegetação nativa foi considerada mais estável do ponto de vista da morfogênese e pedogênese, pois mantém a cobertura vegetal e minimiza os processos erosivos.

Tabela 6 – Classes de uso e cobertura da terra, percentual de ocupação e pesos de estabilidade/vulnerabilidade

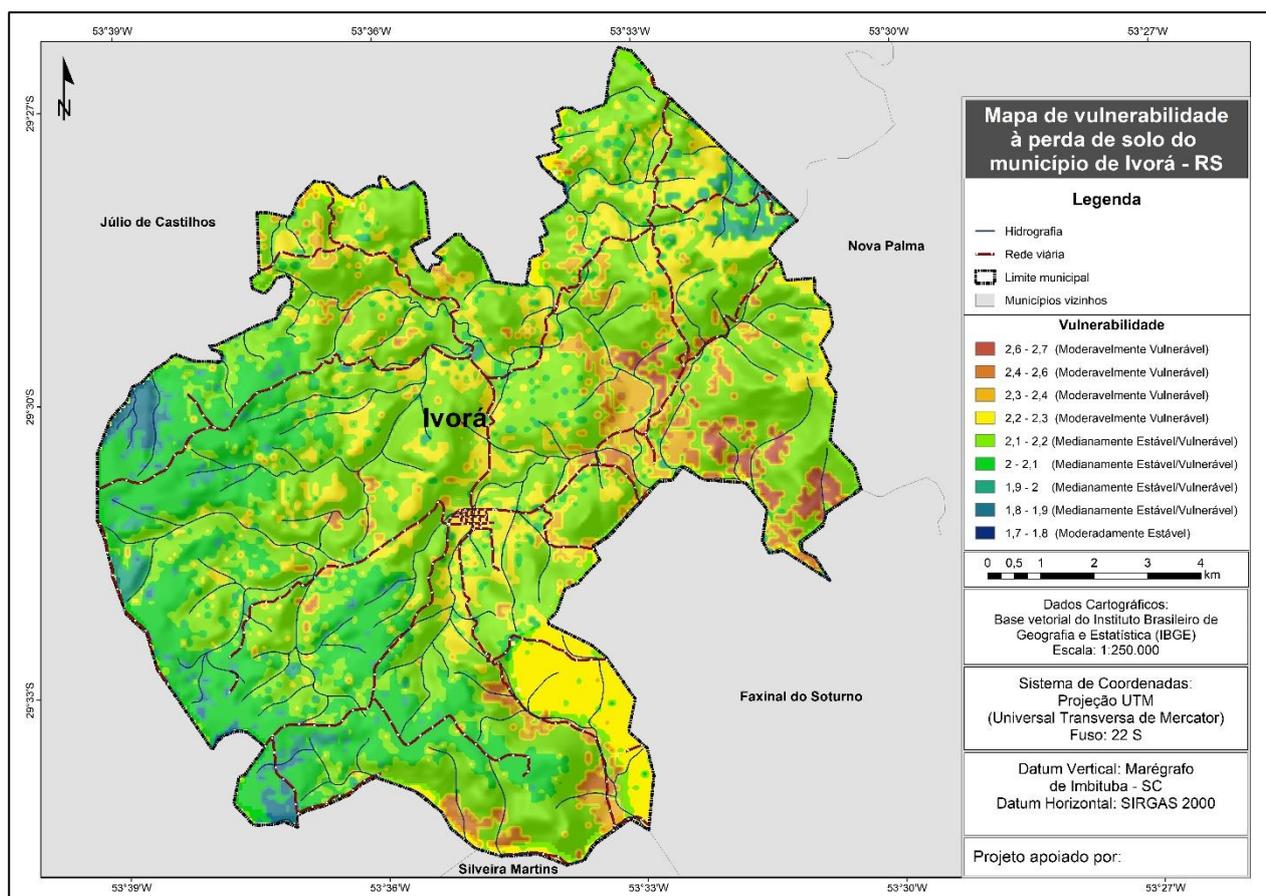
Classes de uso e cobertura da terra	Percentual de ocupação (%)	Estabilidade/ vulnerabilidade
Vegetação nativa	44,00	1,3
Área de campo	38,30	2,6
Área agrícola	16,50	2,9
Corpo d'água	0,37	1,5
Área reflorestada	0,62	2,2
Área urbana	0,23	3,0

Fonte: Organização dos autores

O produto final oriundo da integração dos cinco temas anteriormente trabalhados (declividade, geologia, geomorfologia, pedologia e uso e cobertura da terra) apresenta a síntese em relação ao grau de estabilidade e vulnerabilidade das unidades do município de Ivorá (Figura 8). A tabela 7 apresenta o percentual de ocupação das classes, bem como intervalo das classes segundo o grau de vulnerabilidade/estabilidade do ambiente.

Observando a figura 8 e a tabela 7, verifica-se a ocorrência de três classes de vulnerabilidade/estabilidade, com ausência das classes estável e vulnerável na área de estudo. Em estudo similar, para analisar a fragilidade ambiental potencial do distrito sede de Santa Maria-RS, Weiss e Pipii (2019) identificaram que, 78% das áreas foram consideradas muito estável a estável, com base em informações de hipsometria, declividade e tipos de solo.

Figura 8 – Mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo do município de Ivorá – RS



Fonte: Autores (2022)

Tabela 7 – Classes de estabilidade/vulnerabilidade, percentual de ocupação e intervalos de classe

Classes de estabilidade/vulnerabilidade	Percentual de ocupação (%)	Estabilidade/vulnerabilidade
Moderadamente estável	00,02	1,7 – 1,8
Medianamente estável/vulnerável	75,08	1,8 – 2,2
Moderadamente vulnerável	24,90	2,2 – 2,7

Fonte: Organização dos autores

A classe que compreende os valores de 1,7 a 1,8, mostra-se presente em poucas regiões, representando apenas 0,02% do território. É possível verificar essas ocorrências em porções mais elevadas, variando de 220 m a 340 m de elevação, ao sudoeste e noroeste do município, próximo à divisa com o município

de Júlio de Castilhos. Essas unidades são consideradas moderadamente estáveis e por suas características, constituem as unidades com predomínio da pedogênese.

A classe que apresenta maior predominância em relação à área total do município possui valores variando de 1,8 a 2,2 (75,08%) na escala de estabilidade/vulnerabilidade. Conforme as categorias morfodinâmicas essa classe pode ser considerada intermediária, onde existe o equilíbrio da relação pedogênese/morfogênese. Ao analisar a figura 8, pode-se perceber que a classe que varia de 1,8 a 1,9 encontra-se especialmente nas encostas dos morros indicando a presença da rede de drenagem. A ocorrência dessa classe também é evidenciada onde existe boa densidade vegetativa e a altitude é intermediária, o que favorece o escoamento d'água pluvial, evitando o seu acúmulo, tornando o solo, nessas regiões, menos suscetíveis. As classes compreendendo os valores de 1,9 a 2,2 estão presentes em praticamente toda a extensão do município, destacando-se onde a vegetação é mais intensa, o que mostra que, embora sejam áreas preservadas, cobertas pela vegetação nativa em sua maioria, existe a ocorrência de ações antrópicas nas unidades. Também quando relacionadas ao mapa de declividade, existe uma inclinação mais acentuada nas encostas. A elevação por sua vez, nessas áreas varia de 350 m podendo chegar a 510 m de altitude. Nestas unidades

A ocorrência de unidades moderadamente vulneráveis, com valores de vulnerabilidade variando de 2,2 até 2,7, ocupam 24,90% da área territorial. Ao analisarmos a declividade nessas unidades, nota-se que na maior parte, as áreas são planas e, em alguns casos apresentam-se suavemente onduladas. A elevação nesses locais é baixa, variando de 72 m a 220 m. Quanto ao uso da terra, destacam-se as áreas destinadas a cultivos agrícolas. A vegetação nessas regiões é rasa, com mata pouco densa, prevalecendo áreas com campos e solos expostos. Nestas unidades a geomorfologia, a geologia e os tipos de solos formam os condicionantes para sua classificação. Observa-se a presença do solo do tipo Neossolo Litólico Chernossólico considerado mais vulnerável, devido sua pouca profundidade e

composição por rochas e textura argilosa. Quanto à geomorfologia, destacam-se a formação Serra Geral e a Depressão do Rio Jacuí, também classes consideradas menos estáveis. No que se refere à geologia, pode-se verificar a presença da Formação Botucatu e a Formação Rosário do Sul, ambas as classes são do tipo arenito, que possui granulação fina e média, e a classe dos Aluviões Holocênicos, que são consideradas mais vulneráveis. Estas unidades merecem maior atenção tanto dos gestores territoriais, quanto dos agentes modificadores da paisagem, pois devido a sua vulnerabilidade natural, apresentam maior instabilidade dos elementos e as interferências antrópicas deverão manter um equilíbrio do meio.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do estudo realizado, pode-se verificar que as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto utilizadas para caracterizar os aspectos ambientais do município, mostraram-se satisfatórias. A integração das informações, com auxílio das ferramentas de análise espacial, possibilitou obter o mapa síntese das unidades demonstrando às áreas mais estáveis ou vulneráveis à perda de solo.

O mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo do município de Ivorá representa, de forma integrada, as relações entre elementos naturais e o uso e cobertura da terra, do ponto de vista da ecodinâmica da paisagem. A presença majoritária da classe medianamente estável/vulnerável (75,08%), significa que há um equilíbrio entre a morfogênese e pedogênese. Já, a classe moderadamente vulnerável (24,90%), representa as áreas que merecem atenção especial devido à presença de elementos mais instáveis. Este estudo apresenta-se como uma importante ferramenta de apoio a tomada de decisão, visando o planejamento territorial sustentável e parte integrante do ZEE municipal.

REFERÊNCIAS

BECKER, B. K; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Brasília: SAE-MMA, 1996.

CARVALHO, J. R. M. de *et al.* Metodologia para avaliar a sustentabilidade ambiental de municípios utilizando análise multicritério. REUNIR – **Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade**, Campina Grande, v. 1, n. 1, p. 18-34, maio / ago. 2011.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial**. INPE: São José dos Campos, 2001.

CREPANI, E. *et al.* **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. INPE: São José dos Campos, 1996.

DELLARGINE, F. L. *et al.* Análise da vulnerabilidade ambiental do município de Inconfidentes – MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Pernambuco, v. 13, n. 07, p. 3602-3624, 2020.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1979.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006.

GOLDEMBERG, J; LUCON, O. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. Editora da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2008.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geologia**. Santa Maria SG.22-V-C. Rio de Janeiro: IBGE, 2003a, 1 mapa. Escala: 1/250000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geologia/15822-geologia-1-250-000.html?=&t=downloads>. Acesso em: 20/04/2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geomorfologia**. Santa Maria SG.22-V-C. Rio de Janeiro: IBGE, 2003b, 1 mapa. Escala: 1/250000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html?=&t=downloads>. Acesso em: 20/04/2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Ivorá - Panorama**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/ivora/panorama>. Acesso em: 02/12/2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pedologia**. Santa Maria SG.22-V-C. Rio de Janeiro: IBGE, 2003c, 1 mapa. Escala: 1/250000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=downloads>. Acesso em: 20/04/2021.

IGAWA, T. K; MACIEL, M. de N. M. Vulnerabilidade natural à perda de solo na bacia hidrográfica do rio Marapanim, Nordeste Paraense. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 15, n. 27, p. 167-180, 2018.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Zoneamento Ecológico-Econômico**. Brasília. 2021. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/gestao-territorial/zoneamento-territorial.html>. Acesso em: 02/12/2021.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análises de Multicritérios. *In*: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. **Anais [...]**, Florianópolis: INPE, 2007, p. 2899-2906.

ROSS, J. L. S. Análise geoambiental para o ordenamento territorial e o ZEE no Brasil. *In*: ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para o planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 147 – 197.

ROVANI, F. F. M; VIERA, M. Zoneamento Ecológico-Econômico de Silveira Martins-RS. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 37, n. 1, p.140-157, 2017.

ROVANI, F. F. M. *et al.* Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo de Barão de Cotegipe, RS. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 29, n. 1, p.262-278, 2015.

STEINBERGER, M.; ROMERO, M. B. Reflexões preliminares sobre as dimensões demográficas urbanas do zoneamento ecológico-econômico. *In*: Encontro Nacional da ABEP, 2016, Caxambu. **Anais [...]**. Caxambu, 2016, p.1–24.

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

WEISS, R.; PIPPI, L. G. A. Análise multicritério para definição de vulnerabilidade ambiental. **Terr@ Plural**, Ponta Grossa, v. 13, n. 3, p. 272-295, set./dez. 2019.

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

1 – Marcus Vinicius Maidana de Andrade

Tecnólogo em Geoprocessamento.

<https://orcid.org/0000-0003-4640-2155> • vinicius.maidana@acad.ufsm.br

Contribuição: As tarefas de concepção e design do estudo, preparação e redação do manuscrito, bem como a revisão crítica, foram desenvolvidas em conjunto. O autor ficou responsável pela aquisição de dados e sua interpretação e análise.

2 – Franciele Francisca Marmentini Rovani

Doutora em Geografia.

<https://orcid.org/0000-0001-7756-5307> • franciele.rovani@ufsm.br

Contribuição: As tarefas de concepção e design do estudo, preparação e redação do manuscrito, bem como a revisão crítica, foram desenvolvidas em conjunto. A autora ficou especialmente responsável pelo desenvolvimento teórico-conceitual e procedimentos técnicos.

Como citar este artigo

ROVANI, F. F. M.; ANDRADE, M. V. M. DE. Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo do município de Ivorá - RS. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 26, e37, 2022. DOI 10.5902/2236499469100. Disponível em:

<https://doi.org/10.5902/2236499469100>. Acesso em: dia mês abreviado. ano.