



Estudo de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações na região urbana de Patos de Minas, Minas Gerais

Study of gravitational movements and inundation susceptibility in urban region of Patos de Minas, Minas Gerais

GONÇALVES, Leonardo Pêgo de Miranda¹

LOPES, Eliane Cândida²

SOUSA, Jean Felipe Pereira de³

VIANA, Rodrigo Fábio⁴

Resumo

Todos os anos o Brasil registra milhares de acidentes considerados como desastres naturais, onde o Estado de Minas Gerais contribui anualmente, principalmente com acidentes vinculados as intensas chuvas. Assim o presente estudo possui como objetivo a indicação de áreas que possuem a propensão ao desenvolvimento de processos físicos naturais ligados a movimentação de massa e inundação no perímetro urbano da cidade de Patos de Minas. A partir de mapas de uso e ocupação do solo, classes dos solos, hipsometria, precipitações médias anuais, declividade, malha viária e NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), aplicou-se a álgebra de mapas e processo de hierarquização analítica. Como resultado obteve-se a classificação de suscetibilidade da área. Concluiu-se que o perímetro urbano possui suscetibilidade média a alta para movimentos de massa e inundação, ressalta-se que medidas preventivas devem ser efetivadas para evitar maiores acidentes.

Palavras-chave: Geotecnia. Suscetibilidade. Deslizamento. Inundação. SIG.

Abstract

Every year Brazil registers thousands of accidents considered natural disasters, where the State of Minas Gerais contributes yearly, mainly accidents linked to the intense rains. Thus, this study aims to indicate areas that have the propensity to develop natural physical processes linked to mass movement and flooding in the urban perimeter of the city of Patos de Minas. From maps of land use and occupation, soil classes, hypsometry, average annual precipitation, slope, road mesh and NDVI, map algebra and analytical hierarchy process was applied. As the result, the susceptibility classification of the area was obtained. It was concluded that the urban perimeter has medium to high susceptibility for mass movements and flooding, preventive measures should be taken to avoid major accidents.

Keywords: Geotechnical. Susceptibility. Sliding. Flood. SIG.

¹ Discente de Geologia, Centro Universitário de Belo Horizonte (UniBH),2020. Belo Horizonte, MG. leobah55@gmail.com

²Discente de Geologia, Centro Universitário de Belo Horizonte (UNIBH),2020. Belo Horizonte, MG. elianecandidalopes@gmail.com;

³ Discente de Geologia, Centro Universitário de Belo Horizonte (UNIBH). Belo Horizonte, MG. jeansousa@gmail.com

⁴ Mestre em Engenharia Civil. UFV, 1998. Professor do Centro Universitário de Belo Horizonte (UniBH). Belo Horizonte, MG. rodrigo.fabio@prof.unibh.br



1 Introdução

Na atualidade desastres naturais fazem-se cada vez mais presentes em nossos cotidianos. Desastres naturais inicialmente nos levam a imaginar terremotos, vulcões, furacões, tsunamis e outros grandes eventos, porém esse termo também contempla deslizamentos, inundações, subsidências, tudo que leva a exposição de pessoas e propriedades a perigos e prejuízos ocasionados por processos de origem natural ou antrópico (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009). O grande e desorganizado avanço da urbanização, segue de acordo com a possibilidade econômica de cada grupo de pessoas, não levando em consideração as características da área. Essa situação demonstra a ausência de planejamento, uma vez que áreas impróprias são adicionadas a carência de infraestrutura urbana decorrente do abandono do poder público. O plano diretor municipal que é um instrumento básico da política de desenvolvimento e expansão urbana nem sempre é seguido e os demais planos urbanísticos, que são detalhamentos do plano diretor devem estar em relação de coerência com ele (ALVES, 2014). Nesse contexto a carta de aptidão a urbanização que deve ser realizada após a carta de suscetibilidade, é importante pois contém o resultado de uma avaliação de perigos associados a processos de meio físicos e as recomendações ao uso urbano do solo de acordo com as limitações e potencialidades de cada unidade geotécnica delimitada (BITAR, 2015).

A retirada de solo e vegetação de áreas que são naturalmente estáveis a processos erosivos e a impermeabilização do solo sem considerar a infiltração das águas pluviais pode agravar o escoamento pluvial, colocando em risco áreas sobre as planícies dos rios (SILVA, 2016). Estes fatores favorecem a ocorrência de processos erosivos, movimentos de massa e inundações, que poderiam estar naturalmente estabilizados ou com menor suscetibilidade agravante. Nesse contexto, o prévio conhecimento de áreas naturalmente suscetíveis a inundações, erosão e movimentos de massa é uma ferramenta para que órgãos responsáveis possam montar um plano de ação para evitar o máximo de dano possível (SILVA, 2016).

A lei Federal 12.608/2012 estabelece a Política Nacional de Proteção e Defesa Social (PNPDEC) a qual introduziu alterações no Estatuto da cidade, estabelecendo a obrigatoriedade de mapeamento de áreas suscetíveis a desastres naturais, no qual o produto deve ser um mapa ou carta de suscetibilidade. As cartas indicam áreas suscetíveis a fenômenos e processos do meio físico, cuja dinâmica pode gerar desastres naturais (BITAR; FREITAS; MACEDO, 2015).

Sendo assim faz-se necessário que todos os municípios do país tenham essa carta ou mapa de suscetibilidade. Verificando os municípios de Minas Gerais que chamam atenção em



manchetes jornalísticas através de Barbosa (2019) no site G1 e Rocha (2018) no site Patos Hoje, que exploram deslizamentos e inundações, foi selecionado Patos de Minas. Esse será o fomento para a geração de mapas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação em ambiente SIG, sendo dividido em zonas que demonstram graus de possibilidade de danos, para apoiar o órgão de defesa civil da cidade.

O presente trabalho tem como objetivo geral fornecer informações complementares para as políticas públicas da cidade de Patos de Minas, identificando zonas de suscetibilidade natural aos movimentos gravitacionais de massa e inundação.

São objetivos específicos do trabalho: Gerar mapas de suscetibilidade natural a movimentos gravitacionais de massa e a inundação, em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG); editar os produtos cartográficos gerados em formato digital de modo a que possam ser utilizados como apoio para a revisão do plano diretor, bem como à elaboração de cartas geotécnicas de aptidão urbana e de áreas de risco, entre outros instrumentos de planejamento e gestão territorial.

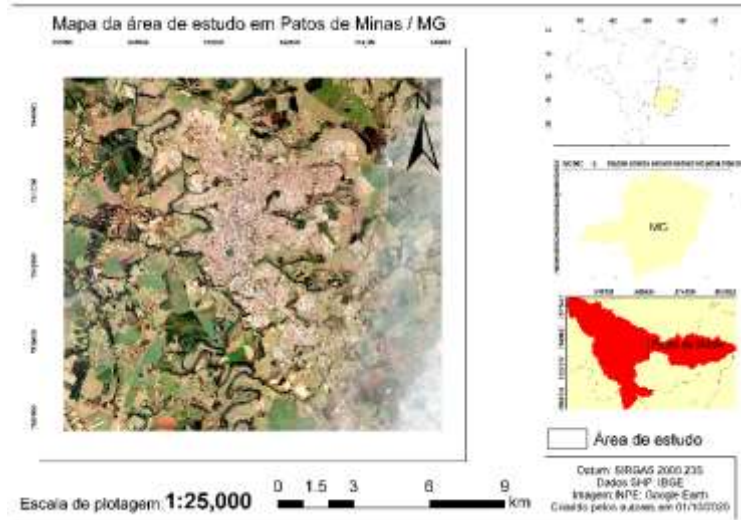
1.1 Localização e acesso

A área de estudo tem aproximadamente 50 km de largura por 30 km de extensão (Figura 1) e se localiza no Município de Patos de Minas, próxima da região do Triângulo Mineiro (MG). O distrito-sede de Patos de Minas está a uma altitude média de 833 metros, com extensão territorial de 1.197,78 km², incluindo os 50 km² da área urbana. Seus limites são: ao norte o município de Presidente Olegário, ao sul o município de Lagoa Formosa e o distrito de Santana de Patos, a oeste o distrito de Pilar, a leste o distrito de Pindaíbas e o distrito de Chumbo e a sudoeste os municípios de Coromandel e Guimarães.

A cidade de Patos de Minas está distante 462 km de Belo Horizonte capital do estado de Minas Gerais, o acesso à área se dá pela rodovia federal BR-135 até o município de Esmeraldas, logo depois BR 040 até o município de Sete Lagoas (Figura 2). O trajeto varia entre as BR 040 e 135 até Varjão de Minas onde temos acesso a BR 365 até Patos de Minas. A área de estudo situa-se na porção norte da área urbanizada da cidade estando limitados ao norte pelo bairro Residencial Barreiro, ao sul Distrito Industrial a oeste, Copacabana e a leste Alto Marabá.

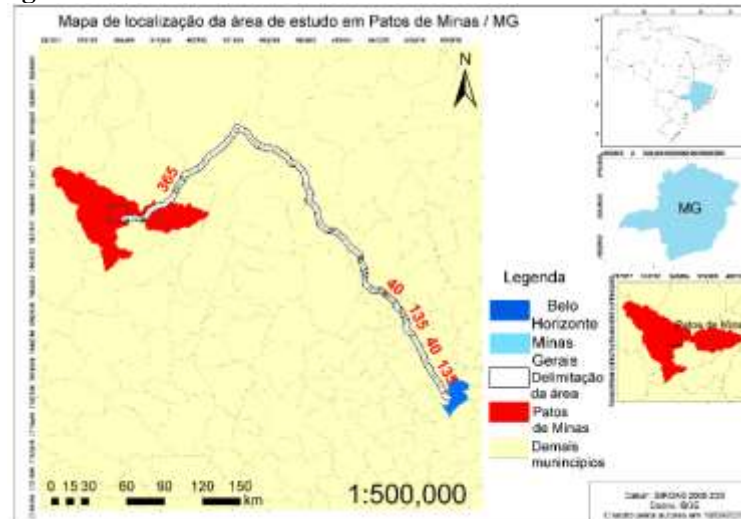


Figura 1: Localização da área de estudo, inserida no município de Patos de Minas, Minas Gerais.



Fonte: AUTORES, 2020.

Figura 2: Vias de acesso entre a área de estudo e Belo Horizonte.



Fonte: AUTORES, 2020.

2 Fundamentação teórica

O solo é fundamental para o desenvolvimento de diversas atividades humanas, entretanto, há diversos usos ou atividades que implicam a degradação do solo. A degradação do solo é um dos maiores problemas ambientais, e acontece em todo o planeta. O resultado é o impacto direto e indireto ao ser humano: direto pelo fato de que fez e faz de pessoas que moram em zonas instáveis vítimas de enxurradas e desabamentos de terra; indireto pelo desequilíbrio nos ecossistemas que o empobrecimento do solo acarreta, assoreamento de corpos hídricos,



dentre outros. Um dos fatores de desgaste que mais seriamente tem contribuído para a degradação do solo é a erosão (OLIVEIRA *et. al.*, 2017).

Erosão é uma palavra que provem do latim *erodere*, que significa corroer, devorar, etc. Dessa forma são denominados todos os processos de desgaste realizados pelas águas, vento, geleiras que geram respectivamente as erosões hídricas, eólicas e glaciais. Portanto, a erosão é a realização de um trabalho e seu produto é o sulco, a voçoroca, etc. Seus principais fatores condicionantes, quais sejam: clima, cobertura vegetal, natureza do solo e a topografia do terreno (OLIVEIRA *et. al.*, 2017).

Crozier (1986) define especificamente que movimentos gravitacionais de massa, fenômenos frequentes que podem ser definidos como processo exogenético, caracterizado como transporte de material com ou sem ajuda de água com agente de transporte, sem velocidade definida. Bini *et. al.* (2017) descreve os movimentos gravitacionais de massa de forma mais específica como processos categóricos de mudança das encostas, uma vez que há remoção e a deposição de grandes quantidades de materiais de uma só vez. Sua frequência de ocorrência é normalmente pequena em relação à atuação das águas correntes, no entanto, as transformações na paisagem são geralmente mais significativas.

A ocorrência de um evento de movimento de massa, em especial os escorregamentos, deixa evidências marcadas na paisagem que são definidas como cicatrizes (MARTINS *et. al.*, 2015). Outra feição importante dentro dos movimentos gravitacionais de massa é a voçoroca, uma vez que a mesma é resultado de uma erosão profunda a ponto de atingir o lençol freático (EMBRAPA, 2007).

O estudo de feições erosivas pode auxiliar no entendimento da dinâmica ambiental da área e assim auxiliar em uma possível melhor escolha para moradias, plantações e outros empreendimentos, desse modo, o mapeamento das mesmas se faz necessário. Segundo Fernandes e Amaral (1996), para a montagem de inventários de mapeamento são identificados e localizados por meio de fotografias aéreas ou imagens de satélites, visitas de campo, dados históricos etc. A localização espacial, em conjunto com outras informações relevantes sobre o processo como, por exemplo, tipologia, forma, tamanho, raio de alcance e volume lateral auxiliam em muitas vezes os demais métodos, por fornecer registros dos processos ocorridos no passado e no presente.

Martins *et. al.*, (2015) comprova que, a partir da análise de eventos de movimentos de massa, foram propostas diferentes classificações que consideram características do tipo de material deslocado, velocidade e a sua morfometria. Além da classificação, os fatores



intrínsecos como as propriedades físicas das encostas, bem como agentes deflagradores, tanto naturais quanto induzidos são também contemplados para a análise destes fenômenos. Crozier (1986) expõe que movimentos de massa podem ocorrer com a ajuda da água, o que faz esse agente natural também obter atenção, uma vez que além de saturar o solo, facilitando assim deslizamentos, também pode causar inundações. Sousa *et. al.* (2013) corrobora que inundações podem ser intensificadas através da exposição do solo em decorrência da retirada da cobertura vegetal, demonstrado que esse problema é resultado de um uso não eficiente do solo.

De acordo com Tucci; Bertoni (2003), as inundações geralmente ocorrem quando a precipitação é intensa e a quantidade de água que chega juntamente ao rio é maior que à sua capacidade de drenagem, resultando no transbordamento de suas águas as áreas ribeirinhas. As principais variáveis naturais para a ocorrência de inundação são o relevo, a quantidade e intensidade das chuvas, cobertura vegetal, e capacidade de drenagem do solo. Já as principais condições artificiais decorrem do uso e manejo do solo, como obras hidráulicas, grau de impermeabilização do solo, desmatamento e reflorestamento (GOLDONI; VESTENA, 2006).

As características do meio físico que naturalmente podem causar algum evento de movimento de massa ou inundação associados aos processos de expansão urbana sem planejamento adequado e a especulação imobiliária em locais inapropriados ou com algum potencial de risco, podem resultar na precarização da cobertura vegetal e dos recursos naturais do solo e da água. Como resultado ocorrem o, assoreamento dos cursos d'água devido ao acúmulo de sedimentos que resulta ao excesso de material no leito do mesmo, e assim colocando os cidadãos em situação de risco elevado. Há também a instauração de loteamentos e invasões em áreas impróprias à ocupação antrópica, adicionado ao lançamento das águas pluviais canalizadas em locais inadequados e a intensificação do processo de impermeabilização do solo. Esta situação tem levado à ocorrência vários processos erosivos e, como consequência desses processos, o surgimento de ravinas e voçorocas (MENDES, 2014).

Atualmente no Brasil as ocorrências de desastres naturais têm causado muitos danos socioambientais e estão associadas principalmente ao regime hidro climático da área. Entre as principais causas de desastres está a inundação, alagamentos, estiagens, enchentes, escorregamentos de solos e/ou rochas e tempestades, associados a eventos de chuva intensos e prolongados (TOMINAGA *et. al.*, 2009).

Sendo assim é de grande importância entender como pode ocorrer a dinâmica erosiva, para minimizar os riscos à população. A identificação e o mapeamento das áreas mais suscetíveis a inundações também são essenciais para a tomada de decisão, principalmente, para

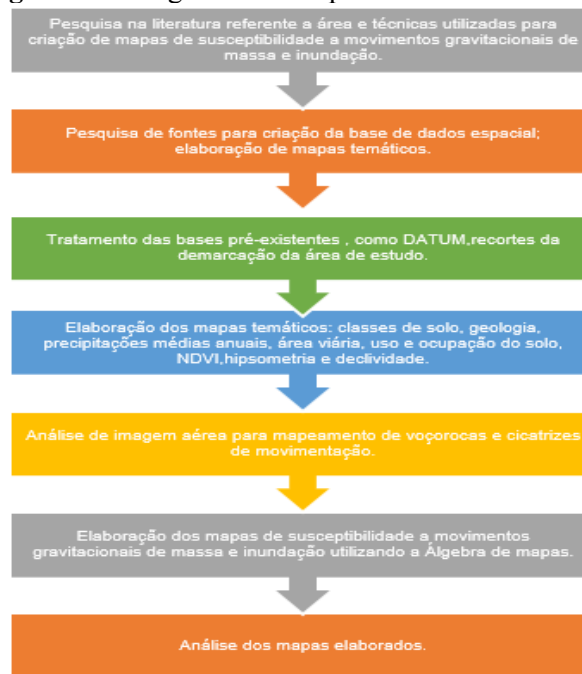


o planejamento urbano. A cartografia geotécnica é uma ferramenta de planejamento que integra dados e informações básicas sobre as características geotécnicas dos terrenos e, desta forma, podemos entender as interações com as intervenções humanas relacionadas ao processo de uso e ocupação do solo (BITAR *et. al.*, 2015).

3 Metodologia

O estudo proposto foi realizado de acordo com as seguintes etapas na Figura 3.

Figura 3: Fluxograma das etapas realizadas no estudo.



Fonte: AUTORES, 2020

A base de dados utilizada para a realização desse trabalho consiste em: Imagem SRTM de 30m (Earth Explorer); imagem aérea do voo de 26 de junho de 2020 do satélite LANDSAT 8 de 30m para vetorização de feições erosivas (INPE); limites municipais de Minas gerais e Patos de Minas de 2010 (IBGE); dados pluviométricos históricos de isoietas anuais médias de 1977 a 2006 na escala de 1:1.000.000(CPRM); uso e ocupação do solo 2015 na escala 1:1.000.000 (Embrapa); cartas geológicas de Patos de Minas e Carmo do Paranaíba na escala de 1:100.000 (Portal da geologia e CPRM); classes de solo, na escala 1:50.000 (DEGET - Departamento de Gestão Territorial (CPRM/ERJ 2009)); malha viária da cidade (Google Earth).



As bases de litologia, uso do solo, classes de solo, isoietas, malha viária, uso e ocupação do solo foram utilizadas para elaboração de mapas temáticos. A partir da imagem SRTM foram adquiridas informações de declividade e hipsometria e da imagem LANDSAT, foi obtido o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e utilizada para vetorização de feições erosivas.

O cálculo de NDVI é feito a partir da diferença entre as reflectâncias das bandas 4 (infravermelho próximo) e 3 (visível - vermelho) dividido pela soma das reflectâncias das duas bandas. O resultado varia de -1 a 1, dessa forma quanto mais próximo do 1, maior indício de presença de vegetação, e quanto mais próximo do -1, maior indício de presença de solos descobertos e rochas.

Os procedimentos de tratamento das informações e de elaboração de mapas foram realizados utilizando o *software* de SIG *ArcGIS* 10.6 e *QGis* 3.12, Todos os mapas foram elaborados na escala de plotagem 1:25.000, para ficarem compatíveis com o manual de cartas geotécnicas do IPT e nota explicativa de construção de mapas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação do CPRM (BITAR, 2014). Uma vez que o país possui déficit em sua base de informações cartográfica, e não há padronização de escalas, fica a cargo de empresas privadas e até mesmo os municípios a criação de dados atualizados e detalhados, quando lhe é benéfico.

3.1 Construção do modelo de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação

Para a qualificação da susceptibilidade natural a movimentos gravitacionais de massa foram utilizados os mapas de classes de solo, uso e ocupação da terra, litologia, vigor de vegetação (NDVI), declividade, malha viária, isoietas histórica de chuva, hipsometria, que foram subdivididas em classes. Para a qualificação de área de inundação foram avaliados importantes fatores que influenciam diretamente no nível da água alcançado por uma inundação, independente da precipitação incidente: altitude, declividade, uso da terra e tipo de solo (SANTOS; LOUZADA; EUGENIO, 2010).

Cada classe de mapeamento recebeu valores de 1 a 5 (Tabela 1), levando em consideração interferências e impactos que as classes poderiam contribuir para deflagração de movimentos de massa. De maneira que quanto maior a nota, maior a susceptibilidade natural a movimentos gravitacionais de massa e inundação (1: muito baixa; 2: baixa; 3: média; 4: alta; 5:



muito alta). Para a definição das notas das variáveis de litologia, classes solos, índice de vegetação, declividade, malha viária, uso e ocupação do solo, pluviometria, vigor de vegetação e hipsometria utilizou-se como parâmetro informações dos autores SANTOS *et. al.*, (2018); CREPANI *et. al* (2001) e SILVA (2014). Ressalta-se que as notas das variáveis sofreram alterações em relação às referências consultadas, para que ficassem coerentes com a área de estudo. As feições erosivas mapeadas foram sobrepostas aos temas avaliados, para identificação de possíveis relações e realização de ajustes nas notas.

Tabela 1: Classes dos mapas subdivididas com seus respectivos pesos.

VARIÁVEL	COMPONENTE DE LEGENDA	NOTA (1 a 5)
Litologia	Basaltos e piroxenitos insaturados em sílica e ricos em álcalis	2
	Coberturas detríticas indiferenciadas: Sedimentos arenosos, areno-argilosos e argilo-siltosos inconsolidados, localmente com ocorrência de canga e níveis de cascalho.	4
	Metassiltito, Arenito, Metargilito	3
	Siltitos, argilitos laminados, conglomerados e sedimentos turbidíticos	3
	Cobertura elúvio-coluvionar: Sedimentos arenosos inconsolidados, silte areno argiloso.	3
	Arenito congolemerático	3
Classes de solo	Latossolo Roxo	2
	Latossolo Vermelho-Escuro	2
	Cambissolo	5
Declividade	0-3	1
	3-8	2
	8-20	3
	20-15	4
Malha viária	Buffer de 25 m	3
Uso e ocupação do solo	Pastagem natural	1
	Pastagem plantada	3
	Área agrícola	4
	Mancha urbana	5
	Mosaico de vegetação florestal com Áreas Agrícolas	2
Pluviometria	Alta	4
	Baixo	5
Vigor de vegetação (NDVI)	Moderadamente baixo	4
	Médio	3
	Moderadamente alto	2
	Alto	1
	Hipsometria	775 - 824
	824 - 869	4
	869 - 927	3
	927 - 1,007	2
	1,007 - 1,091	1

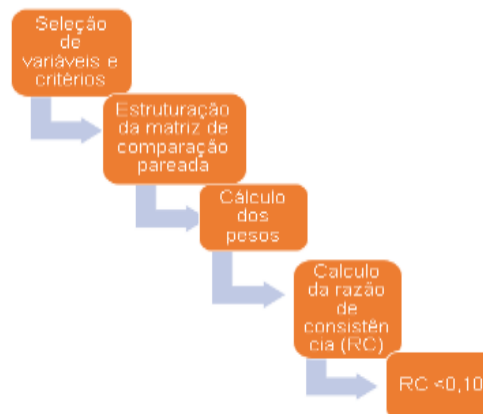
Fonte: AUTORES, 2020.

3.2 Ahp (processo de hierarquia analítica)



Após a aplicação de valores nas classes de cada mapa gerado foi utilizado o processo de hierarquia analítica para correlacionar os mapas utilizados. O método foi proposto por Wharton em 1977 sendo amplamente empregado na análise de problemas envolvendo análises de multicritérios (Figura 4). O método consiste na hierarquização dos elementos que constituem a análise através de pesos, de acordo com seu grau de importância. O processo é a simplificação de um complexo sistema em uma matriz de comparações pareadas das variáveis em uma definição linear da hierarquia de importância, numa escala de 1 à 9 (Tabela 2), baseadas na decomposição, julgamento comparativo e síntese de prioridades (PARK *et. al.*, 2010; SAATY, 1977; SANTOS *et. al.*, 2010; VASILJE-VIC *et. al.*, 2012).

Figura 4: Etapas desenvolvidas no processo de hierarquia analítica.



Fonte: AUTORES, 2020

Tabela 2: Escala de importância da AHP

PESO	IMPORTÂNCIA
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que
2,4,6 e 8 valores intermediários	

Fonte: SAATY; VARGAS, 1979.

O mapeamento de áreas susceptíveis a risco, é uma análise que necessita de inúmeras variáveis e envolve específicas relações de critérios tangíveis e intangíveis. Por demandar juízos à valoração, para Vasiljevic *et. al.*, (2012), a AHP é um método matemático inflexível, que de forma criteriosa hierarquiza a tomada de decisões, simplificando o processo e reduzindo



significativamente erros relacionados às etapas de julgamento. Através da análise pareada, as variáveis são submetidas a hipóteses, propiciando chegar a melhor alternativa, o que fornece maior acurácia aos resultados. Feizizadeh e Blaschke (2012), comparando diversos métodos de avaliação multicritério aplicados à determinação de susceptibilidades, a AHP apresenta-se como a melhor técnica, pois há maior consistência no mapeamento e validação do modelo. A precisão sustenta-se pela possibilidade de verificar a consistência de avaliação da análise, ou seja, averiguar a atribuição coerente dos pesos através do cálculo da Razão de Consistência (RC), compreendida entre 0 e 0,10 para satisfazer as simulações (SAATY; VARGAS, 1979). A matriz é determinada a partir das variáveis de estudo, expressada na Figura 5.

Figura 5:Exemplo de matriz utilizada no método.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix}$$

Fonte: WEISS; PIPPI, 2019.

Com isso, conforme as etapas descritas na figura 3 foram construídas matrizes de comparação pareada utilizando o site AHP CALCULATOR no qual é inserido os nomes das variáveis e após solicita notas de 1 a 9 como proposto por Saaty e Vargas em 1979. Após as notas definidas o site calcula automaticamente o RC ($RC = IC/IR$) sendo IC (índice de consistência), IR (índice aleatório), não deixando progredir até que o mesmo esteja entre 0 e 0,10 estando dentro do limite confiável, após RC dentro do padrão o site lhe dá os pesos estáticos das variáveis (Tabela 3).

Os RC dado para a susceptibilidade natural a movimentos gravitacionais de massa foi de 0,05 enquanto que para a susceptibilidade a inundação foi de 0,03 estando dentro do padrão indicado anteriormente e concluindo que os pesos definidos são aceitáveis. Os valores dos pesos foram atribuídos a partir de uma análise preliminar de cada variável com base em outros autores que aplicaram os métodos em áreas similares. Dessa maneira, os maiores valores para o mapa de suscetibilidade natural foram atribuídos para seguintes classes: índice de vegetação, que expressa a qualidade de vegetação e sua qualidade fotossintética; pluviometria, devido ser o agente modificador principal que intensifica o fenômeno estudado; classes de solo, ligado as propriedades de infiltração, saturação e transmissividade que o solo pode ter. Enquanto que para a suscetibilidade a inundação, a declividade e a classe de solos ficaram com os maiores pesos. Uma vez que áreas baixas possuem maior possibilidade de inundação, e as classes de



solo são importantes no parâmetro hidráulico de recarga de rios e aquíferos. Há também interferência das escalas dos mapas, uma vez que a base de dados cedida gratuitamente pelo governo possui pouco detalhamento e não é padronizada, isso pode causar a superestimação dos valores.

Tabela 3: Pesos estatísticos das variáveis.

SUSCEPTIBILIDADE NATURAL A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA	
VARÍAVEL	PESO
Índice de vegetação	26,3
Pluviometria	31,9
Uso do solo	5,1
Classe de solo	20,6
Litologia	9,2
Declividade	3
Sistema viário	3,9
Total	100
SUSCEPTIBILIDADE A INUNDAÇÃO	
VARÍAVEL	PESO
Declividade	61,2
Classes de solo	21,5
Uso do solo	13
Hipsometria	4,3
Total	100

Fonte: AUTORES, 2020.

Com os valores dos pesos definidos, a fase final da análise constitui da integração das variáveis a partir da álgebra de mapas, a qual multiplica cada variável com o seu peso e somamos os resultados, determinando a susceptibilidade natural dos movimentos gravitacionais de massa e inundação com as seguintes equações:

SNMG (SUSCEPTIBILIDADE NATURAL A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA) = $(\text{Índice de vegetação} * 26.3) + (\text{Pluviosidade} * 31.9) + (\text{Uso do solo} * 5.1) + (\text{Classe de solo} * 20.6) + (\text{Litologia} * 9.2) + (\text{Declividade} * 3.0) + (\text{Sistema viário} * 3.9)$

RIP (RISCO DE INUNDAÇÃO EM PATOS DE MINAS) = $(\text{Declividade} * 61.2) + (\text{Classes de solo} * 21.5) + (\text{Uso e ocupação do solo} * 13) + (\text{Hipsometria} * 4.3)$



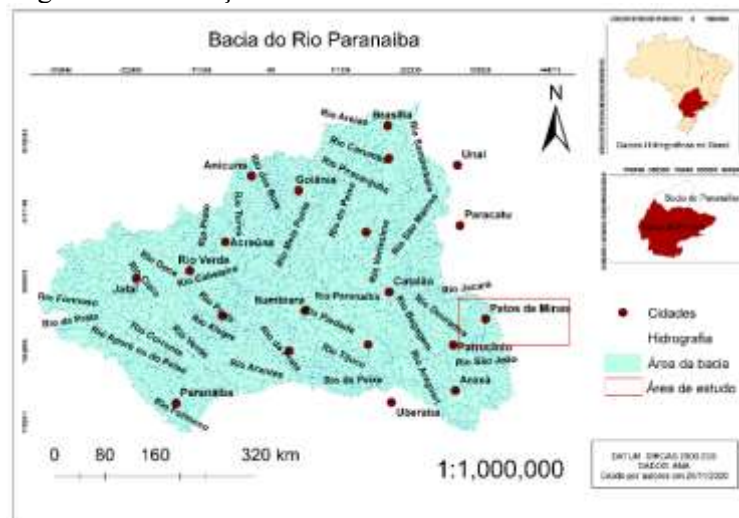
4 Resultados e discussões

4.1 Aspectos fisográficos

4.1.1 Hidrografia

A área de estudo está inserida na Bacia do Paranaíba (Figura 6), no qual é uma das seis unidades que compõe a Região Hidrográfica da Bacia do Paraná. Esse sistema é composto por quatro rios principais em sua área, sendo eles: Rio Paranaíba, Rio São Marcos, Rio Corumbá e o Rio Aporé. O Rio Paranaíba está presente na região de estudo além de ser um dos afluentes que compõe o Rio Paraná e forma a divisa natural entre Minas Gerais com Goiás e Mato Grosso do Sul (PRBHBP, 2011). Na área dessa bacia (Figura 6), é possível identificar nove sistemas aquíferos, sendo o aquífero Bambuí presente na região de pesquisa (PRBHBP, 2011).

Figura 6:Localização da área de estudo na Bacia do Paranaíba.



Fonte: AUTORES, 2020.

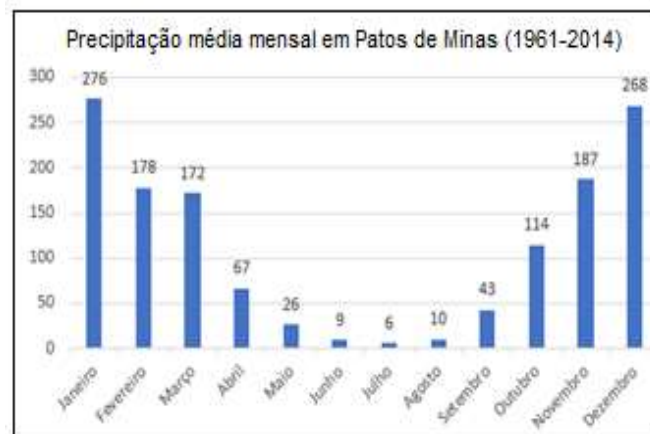
4.1.2 Clima

A dinâmica climática da região que Patos de Minas está inserida é dominada principalmente pelas massas de ar Tropical Continental, Equatorial Continental, Tropical Atlântica e Polar Atlântica, com variações espaciais determinadas pela continentalidade e pela topografia (SILVA, 2012). Segundo Flauzino *et. al.*, (2010), baseado na classificação de Köppen, o clima do município se caracteriza pelo regime tropical com período de seca nos



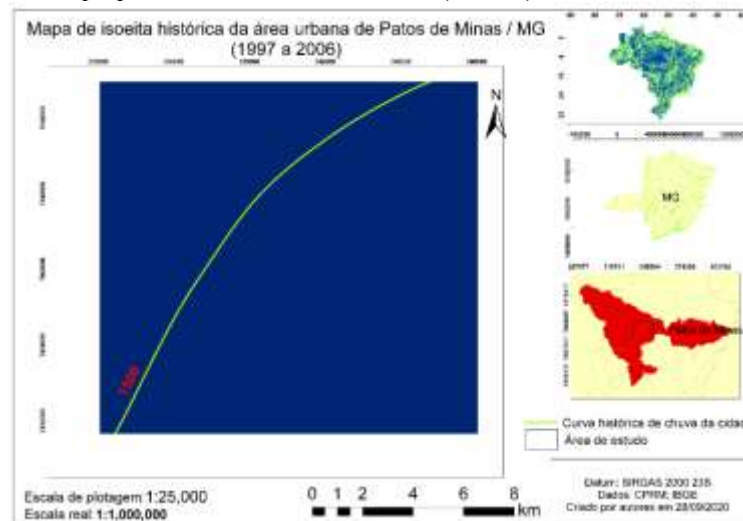
meses de abril a setembro e a época de chuva nos meses de outubro a março, como indica a Figura 7, gerado a partir de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) (2020). A precipitação média anual da cidade, do ano de 1961 até 2014, é de 133 mm e cidade possui a média histórica de 1997 a 2006 de 1500 mm (Figura 8), sendo 150mm anuais em quase uma década, o mesmo é mostrado com a isoietas da região, dado retirado do CPRM (2020).

Figura 7: Média anual, do ano de 1961 até 2014, de precipitação no município de Patos de Minas, Minas Gerais.



Fonte: ANA, 2020

Figura 8: Mapa pluviométrico com a curva (isoietas) histórica de 1996 a 2007



4.1.3 Uso e ocupação do solo

A área de pesquisa está inserida principalmente no Cerrado, bioma que abrange grande parte do estado de Minas Gerais. A vegetação típica desse bioma é composta por formações florestais, savânicas e campestres, apresentando uma grande variação fisionômica. Na



mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, ocorrem predominantemente de campos sujos (vegetação arbustiva) nas porções mais elevadas e, conforme a cota do terreno vai diminuindo, fitofisionomias savânicas do cerrado (denso, típico, ralo e rupestre), caracterizado pela presença de árvores baixas, tortuosas e arbustos. Em regiões de menores altitudes, como no entorno do Rio Paranaíba, podem ser identificados remanescentes de floresta semidecidual característica do bioma Mata Atlântica, de natureza arbóreas e formação de dossel, formado em solos férteis devido à proximidade dos cursos d'água. Essas são conhecidas como mata seca, por causa da perda de folhas durante o período de inverno e seca (RIBEIRO; WALTER, 1998).

O uso e ocupação do solo dá-se principalmente nas atividades de agricultura e pastagem, são as atividades comuns no uso e ocupação do bioma em Minas Gerais, sendo responsáveis por quase 45% de todas as atividades.

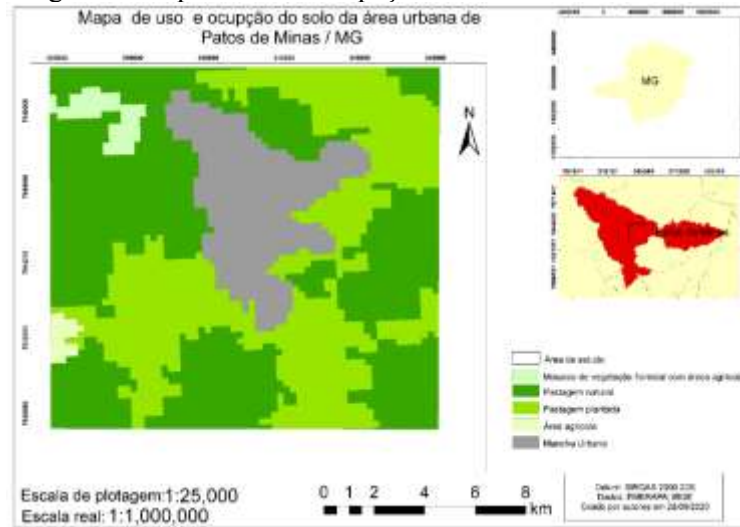
Porém, a composição natural/natural não vegetado abrange por quase metade do Cerrado mineiro. Em Patos de Minas, essas composições se destacam junto da ocupação urbana (BRASIL, 2015).

Para entender melhor e complementar o shapefile de uso e ocupação do solo de 2015 da Embrapa, foi feito o cálculo de NDVI (Figura 9) da área, utilizando a imagem área de 2020 do INPE. O cálculo se trata da diferença entre as reflectâncias das bandas 4 (infravermelho próximo) e 3 (visível - vermelho) dividido pela soma das reflectâncias das duas bandas. O resultado varia de -1 a 1, dessa forma quanto mais próximo do 1, maior indício de presença de vegetação, e quanto mais próximo do -1, maior indício de presença de solos descobertos e rochas (ROCHA, 2018).

Sendo que as porções vermelhas do mapa denominadas como baixo vigor são áreas totalmente desmatadas como a área urbana (Figura 10) ou corpos d'água e as áreas alaranjadas denominadas como modernamente baixas são áreas de pouquíssimas vegetações ou de vegetação arbustiva, enquanto as verdes são áreas que possuem vegetação (ROCHA, 2018).

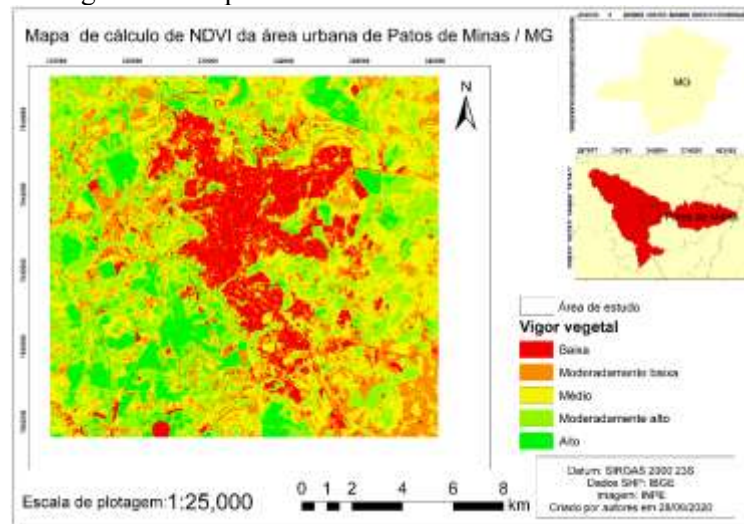


Figura 9: Mapa de uso e ocupação do solo da área de estudo.



Fonte: AUTORES, 2020.

Figura 10: Mapa de cálculo de NDVI da área de estudo.



Fonte: AUTORES, 2020.

4.1.4 Solo

Os solos presentes na região de Patos de Minas são predominantes Latossolos (vermelho e roxo), além da presença de Cambissolos como consta no shapefile (Figura 11) de escala 1:50.000 da DEGET – Departamento de Gestão o Territorial (CPRM/ERJ 2009).

Os Latossolos são caracterizados pela sua avançada fase de intemperização, muito evoluídos do resultado desse processo energético de seu material constitutivo. Eles são compostos por minerais primários ou secundários menos resistentes ao processo de intemperismo e originados a partir das mais diversas rochas e sedimentos que estão em condições de clima e vegetação diversas. Geralmente, são solos fortemente ácidos, com baixa



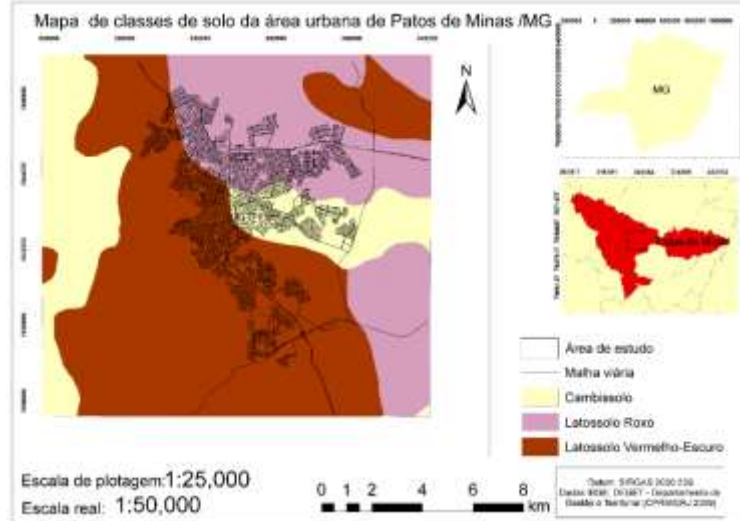
saturação por bases, distróficos ou alumínicos podendo ocorrer solos com saturação por base média e até mesmo alta que são encontrados em regiões que apresentam estação seca ou influenciadas por rochas básicas ou calcárias. Apresentam teor de silte inferior a 20% e argila variando entre 15% e 80%. São solos com alta permeabilidade à água (porosos), podendo ser trabalhados em grande amplitude de umidade. Os vermelhos não muito eficiente para a agricultura, sendo necessário corretivos e fertilizantes. Já os roxos são excelentes para a agricultura, uma vez que são provenientes de rochas vulcânicas como o basalto. A estrutura forte, muito pequena e granular leva os latossolos argilosos a apresentar comportamento semelhante aos solos arenosos. Além disso, nos latossolos de textura argilosa a muito argilosa, quando intensamente mecanizados, a estrutura é destruída, levando à redução da porosidade. Os latossolos ocorrem em regiões equatoriais e tropicais assim como em zonas subtropicais e distribuídos em amplas e antigas áreas de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, principalmente em relevo plano e suave ondulado, podendo ocorrer em superfícies mais acidentadas, inclusive em relevo montanhoso (EMBRAPA, 2018).

De um modo geral, os latossolos, em seu estado natural, possuem elevada porosidade, baixa resistência, pequena suscetibilidade à erosão, baixa capacidade de suporte, podendo ser colapsíveis além de possuírem alto grau de resistência à erosão comparada com outros tipos de solos. Quando estão devidamente compactados, possuem elevadas resistências e capacidade de suporte, junto de baixa permeabilidade. Esses solos, quando estão em condição de imersão em água, perdem pouca capacidade de suporte. As variedades plásticas desses são contrácteis, porém ao contrário do esperado, são pouco expansivas (GODOY, 1997).

Os Cambissolos são de pedogênese pouco avançada representada pela presença do desenvolvimento da estrutura do solo, com alteração do material de origem marcada pela quase extinta estrutura da rocha ou da estratificação de sedimentos. Devido a heterogeneidade do material de origem, das formas de relevo e do clima, as propriedades destes solos variam muito de um local para outro. Logo, essa classe comporta desde solos fortemente até imperfeitamente drenados, de rasos a profundos, de alta a baixa saturação por bases e atividade química de argilominerais (EMBRAPA, 2018).



Figura 11: Mapa de classes de solo presentes na área de estudo



Fonte: AUTORES, 2020.

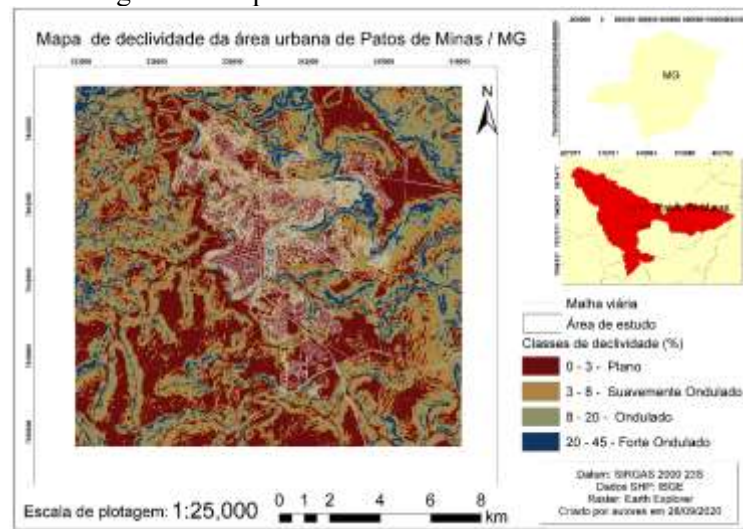
4.1.5 Geomorfologia

Os padrões geomorfológicos indicados pelo o mapeamento de Compartimentação do Relevo do Estado de Minas Gerais (CPRM, 2010), aponta a predominância de padrões Domínio dos Relevos Aplainados na região de Patos de Minas, como sendo elas as Superfícies Aplanadas Retocas ou Degradadas e os Relevos Residuais. O mesmo trabalho também aponta um Domínio das Unidades Agradacionais presente na área de estudo, referente às Planícies Fluviais (CPRM, 2010).

As Superfícies Aplanadas Retocadas ou Degradadas, identificadas no mapa de declividade (Figura 12) são superfícies planas, podendo apresentar leve grau de ondulação, extensas e monótonas, mas não estão compostas em um ambiente colinoso por causa das amplitudes de relevo muito baixas e longas rampas de muito baixa declividade. As feições dos Relevos Residuais são produtos de deslocamento geral dos terrenos, estando destacadas e isoladas na paisagem aplanadas. Já as Planícies Fluviais são superfícies periodicamente inundáveis, convergentes em direção aos cursos de água, compostas por sedimentos de granulometria de argila e areia (CPRM, 2010). O perímetro urbano de Patos de Minas encontra-se entre as altitudes de 775m a 1091 m de altitude, possuindo maior concentração na menor cota, identificada pela CPRM (2020) como planícies fluviais (Figura 13).

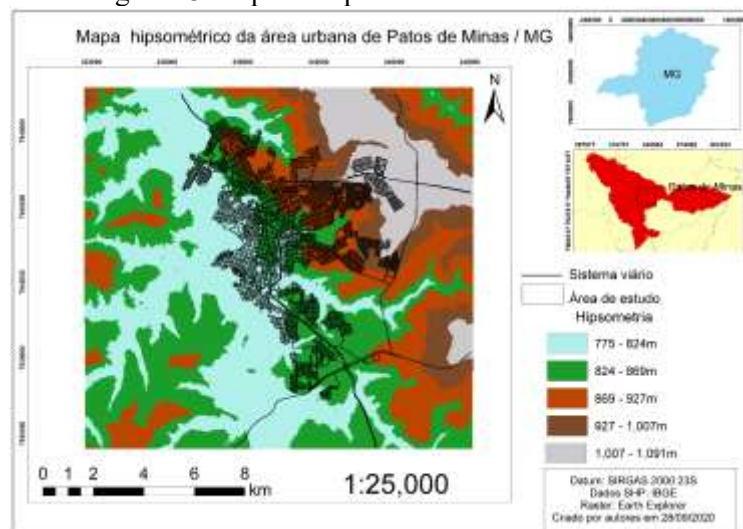


Figura 12: Mapa de declividade da área de estudo.



Fonte: AUTORES, 2020.

Figura 13: Mapa de hipsometria da área de estudo.



Fonte: AUTORES, 2020.

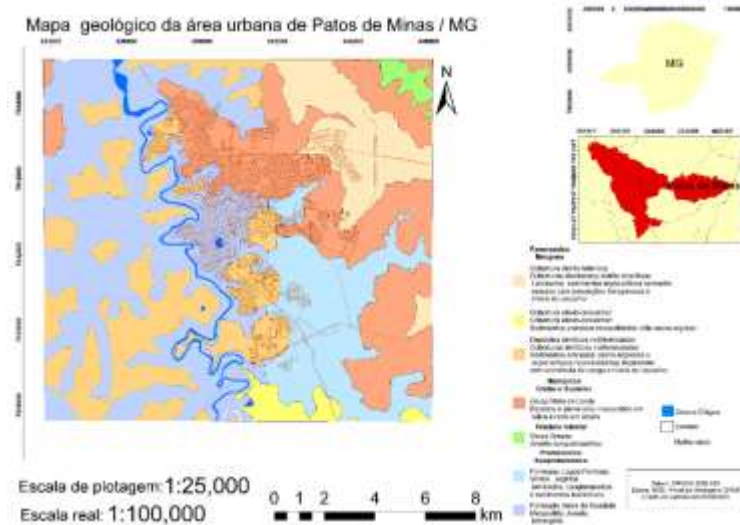
4.1.6 Geologia regional

O município de Patos de Minas localiza-se no extremo oeste do Cráton do São Francisco, no limite com a Faixa Brasília. A geologia (Figura 14) da região estudada é composta por rochas pertencentes a bacia do São Francisco representada pelo grupo Bambuí, fazendo-se presente com a formação Serra da Saudade (CPRM, 2013). Esta formação ainda é acompanhada de coberturas detríticas cenozoicas indiferenciadas e pelo grupo Mata da Corda indiviso, o qual é constituído de rochas vulcânicas alcalinas (BATISTA, 2004). A Formação Serra da Saudade constitui-se de siltitos, arenitos e argilitos (SIGNORELLI *et. al.*, 2008). Já as coberturas



detríticas cenozoicas indiferenciadas são marcadas pela presença de sedimentos arenosos, areno-argilosos e argilo-siltosos inconsolidados, com ocorrência local de canga e níveis de cascalho (CPRM, 2013). Tais coberturas detríticas cenozoicas estão localizadas em áreas de topo e alta/médias vertentes, estando sobrepostas à formação Serra da Saudade, que aflora nas médias/baixas vertentes.

Figura 14: Mapa geológico da área de estudo.



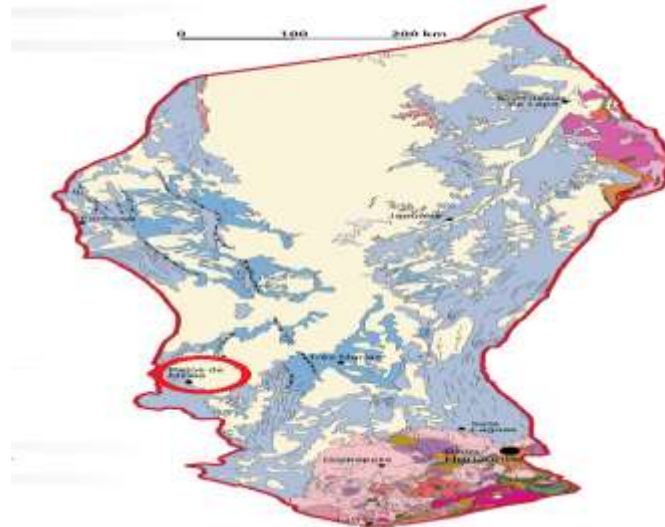
4.1.6.1 Bacia São Francisco

A Bacia do São Francisco corresponde a uma bacia intracratônica que recobre o embasamento do Cráton do São Francisco. Abrange áreas dos estados de Minas Gerais, Bahia, Goiás e Tocantins. O preenchimento desta bacia apresenta uma evolução polihistórica representada por unidades estratigráficas com características distintas e idades que variam do Paleo/Neo-proterozoico ao Cretáceo Superior (ALKMIM & MARTINS-NETO, 2001) compreendem a bacia do São Francisco os Grupos Bambuí e suas respectivas formações Serra da Saudade e Formação Lagoa Formosa.

Já os Grupos Areado, Mata da corda e as coberturas detríticas pertencem a bacia Sanfransiscana que constitui outro regime de sedimentação com presença de rochas vulcânicas e de idade Paleozoica se distinguindo da bacia do São Francisco de idade Neoproterozóica. (ALKMIM; MARTINS-NETO 2001).



Figura 15: Mapa geológico do Craton São Francisco, destacando a área de estudo.



Fonte: KOSIN *et. al.*, 2004.

4.1.6.1.1 Grupo Bambuí

O Grupo Bambuí (750-600 Ma) constitui a cobertura neoproterozóica de maior distribuição no Cráton do São Francisco. Representa associação de litofácies siliciclásticas e bioquímicas, na forma de sedimentos plataformais depositados em extenso mar epicontinental. Regionalmente, foram identificadas as formações clássicas do Grupo Bambuí, conforme definido no Projeto RADAMBRASIL (1982).

4.1.6.1.1.1 Formação Serra da Saudade

Aflora apenas na porção oeste do mapa e apresenta espessura na ordem de 200m. Aparentemente, esta unidade está estratigraficamente acima da Formação Lagoa Formosa, entretanto, as relações entre estas unidades ainda não foram bem definidas, sendo interpretado aqui um contato transicional, representado por uma mudança na associação litológica (LIMA; UHLEIN; BRITTO, 2007). O litotipo predominante corresponde a um siltito, por vezes argiloso, com constante laminação plano paralela. Os afloramentos encontram-se normalmente bem intemperizados, o que confere à rocha coloração ocre a rósea. Calcissiltito e, subordinadamente, calcarenito fino ocorrem em lentes de no máximo 1m (LIMA; UHLEIN; BRITTO, 2007).

Apresentam estratificações plano-paralelas e cruzadas tabulares. Intercalado no siltito ocorrem também lentes métricas de verdete, que corresponde a um siltito verde enriquecido em potássio, podendo apresentar também altos teores de fósforo. A coloração esverdeada é devido



a presença do flossilicato potássico glauconita, conforme. Este litotipo característico se assemelha com os pelitos verdes e diamictitos de matriz esverdeada observados na Formação Lagoa Formosa, o que pode representar uma correlação entre estas unidades (LIMA; UHLEIN; BRITTO, 2007).

4.1.6.1.1.2 Formação Lagoa Formosa

Corresponde à unidade Neoproterozoica de maior extensão em área na região de Patos de Minas. Aflora em toda a porção central ao longo dos vales encaixados. Sua espessura é de difícil determinação devido aos efeitos da deformação – dobras e repetições por falhamento que muitas vezes estão encobertas pelos sedimentos cretáceos do Grupo Areado. Estima-se aqui uma espessura na ordem de 200m. É composta predominantemente por siltito com pequenas intercalações de siltito argiloso, argilito e, em menor quantidade, arenito (LIMA; UHLEIN; BRITTO, 2007). Apresentam laminação e estratificação plano-paralela marcadas pela variação granulométrica dos sedimentos e/ou pela mudança de cor. Em geral os afloramentos encontram-se intensamente fraturados e bastante intemperizados, exibindo colorações que variam de bege a rósea. Quando frescos apresentam coloração verde escuro a cinza. Associado ao siltito ocorre, subordinadamente, diamictito de matriz silto-argilosa e arcabouço composto por seixos e blocos subangulosos de siltito laminado e maciço (LIMA; UHLEIN; BRITTO, 2007).

4.1.6.1.1.3 Coberturas lateríticas e eluvionares

As coberturas Cenozóicas são unidades com uma grande distribuição na área, resultado dos intensos processos erosivos que afetaram as formações estudadas. Apresentam-se inconsolidadas, com espessuras variáveis e podem ser classificadas como coberturas aluvionares, coluvionares e eluvionares (CHIAVEGATTO 1992, UHLEIN *et. al.*, 2004).

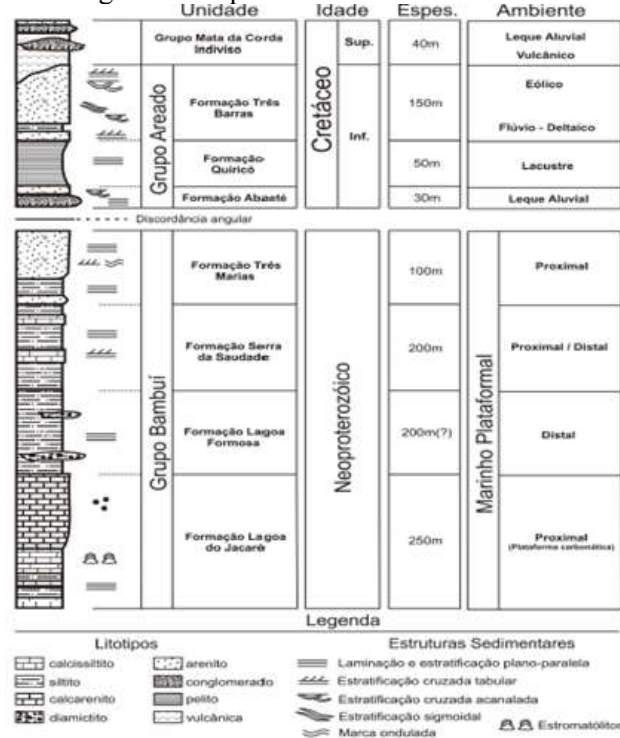
4.1.6.2 Bacia Sanfranciscana

A Bacia Sanfranciscana é uma bacia sedimentar brasileira intracratônica localizada na porção centro-leste do Brasil, com uma área de 150.000 km² e abrangendo os estados de Tocantins, Bahia, Goiás e Minas Gerais. Corresponde ao registro Fanerozóico da Bacia do São Francisco, com rochas de idade entre 300m.a e 70m.a, ou seja, do período Permocarbonífero



até o Cenozoico inferior (Éon Fanerozoico), representando o último megaciclo geodinâmico da Bacia São Francisco (SGARBI, 1989).

Figura 16: Coluna estratigráfica simplificada da bacia intracratônica do São Francisco.



4.1.6.2.1 Grupo Areado

O Grupo Areado representa o segundo ciclo de preenchimento da bacia, tendo sua sedimentação ocorrida no Cretáceo Inferior. O grupo é constituído por três formações, sendo elas: Formação Abaeté, Formação Quiricó e Formação Três Barras (SGARBI, 1989). A Formação Abaeté é a formação basal do Grupo Areado, sendo a representante de depósitos gravitacionais, na forma de leques aluviais e fluxos aquosos esporádicos e torrenciais, originando depósitos (SGARBI, 1989). A Formação Quiricó é representada por arenitos e siltitos maciços, além de argilitos maciços e lentes de calcários amarelos finamente laminados e com estratificações hummocky, estruturas “cone em cone” e teepee. Há também margas oxidadas com bioturbações no topo da sequência. Carapaças de ostracodes e fragmentos de ossos e escamas de peixes são também comuns (SGARBI, 1989).

A Formação Três Barras é a formação de topo do Grupo Areado. Ela pode ser dividida em dois membros: Membro Quintinos e Membro Olegário. A Formação é composta sobretudo por arenitos que, em termos gerais, sofreram cimentação por carbonato de cálcio. Essa



Formação foi desenvolvida em um ambiente de clima árido, significando o avanço das dunas eólicas sobre os lagos da Formação Quiricó (SGARBI,1989).

4.1.6.2.2 Grupo Mata da Corda

O Grupo Mata da Corda composto de rochas máfica-ultramáficas que registram a atividade vulcânica no Neocretáceo. Nesse grupo também são encontradas rochas epiclásticas. Como é observada uma forte interdigitação entre os litotipos vulcânicos e sedimentares interpreta-se que o magmatismo ocorreu como pulsos. O grupo é dividido nas Formações Patos e Capacete (SGARBI; VALENÇA,1993).

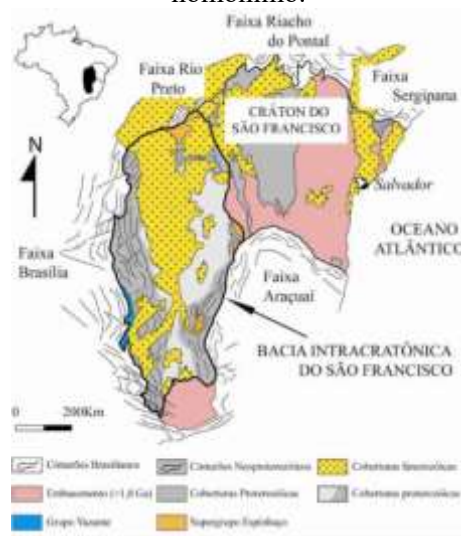
A Formação Patos é a unidade basal do grupo e engloba as rochas vulcânicas e subvulcânicas (de conduto) kamafugíticas (SGARBI; VALENÇA, 1993). Constitui parte do magmatismo alcalino máfico que constitui a Província Alcalina Minas-Goiás. Esse magmatismo está associado temporalmente com os complexos plutônicos carbonáticos (SILVA *et. al.*, 1979; GOMES *et. al.*,1990), como os de Araxá e Tapira. A Formação Capacete é composta por vulcanoclásticas – conglomerados e arenitos epiclásticos, materiais piroclásticos. Originaram a partir de fluxos piroclásticos, erosão e intemperismos das rochas da Formação Patos, que por sua vez foram transportadas por leques aluviais e torrentes fluviais entrelaçadas, formando para-conglomerados com clastos de rochas ígneas alcalinas, além de clastos de rochas metamórficas, como quartzitos, com matriz arenosa (SGARBI; VALENÇA 1993).

4.1.7 Geologia estrutural

A evolução tectônica da região de estudo sofreu influência direta dos dobramentos brasileiros da Faixa Brasília, bem como, do cenário tectônico que gerou a Bacia Sanfranciscana. Portanto, torna-se necessário analisar, de forma independente, a origem e evolução tectônica que gerou a porção Neoproterozoica da área, representada pela Bacia do Bambuí, e a sucessão Fanerozoica caracterizada pelos grupos Areado e Mata da Corda (ALKMIM; MARTINS NETO, 2001; CAMPOS; DARDENNE, 1997).



Figura 17: Arcabouço geológico e distribuição da Bacia do São Francisco e Sanfranciscana no Craton homônimo.



Fonte: ALKMIM, 2004.

4.1.7.1 Bacia do Bambuí

Segundo Alkmim *et. al.*, (1993), as variações deformacionais observadas no Grupo Bambuí estão correlacionadas a divisão da Bacia do São Francisco em compartimentos estruturais. Nesse sentido, o autor classifica a bacia em três domínios principais: central, oeste e leste. No domínio central, os litotipos do Grupo Bambuí são encontrados quase indeformados. Na porção oeste, onde o Cratão São Francisco vai de encontro às faixas Brasília e Rio Preto, nota-se uma progressiva deformação, sendo encontrados sistemas de dobras e falhas de empurrão associados a transpressão. Por sua vez, a compartimentação leste é marcada por uma maior complexibilidade estrutural, envolvendo dobras e falhas de empurrão com geometria em duplex e leque embricado, além de apresentar um par conjugado de juntas com direção NW/SE e NE/SW. Contudo, diferentemente do domínio oeste, a deformação nesta porção não envolve o embasamento, somente a sua cobertura.

4.1.7.2 Bacia Sanfranciscana

A porção Fanerozoica da área representada pelos Grupos Areado e Mata da Corda, compõem uma fração da bacia intracratônica do tipo depressão interior Sanfranciscana, reconhecida assim por Silva *et. al.*, (2003), a partir do Sistema Global de Classificação de bacias de Kingston *et. al.*, (1983). Em seu trabalho, Campos e Dardenne (1997) já propunham um modelo intracontinental para evolução desta bacia, sendo que, sua gênese foi controlada desde



o paleozoico por distintos estágios tectônicos. Após o término das colisões que marcaram o Neoproterozoico, um período de glaciação marcou o início da sedimentação da Bacia Sanfranciscana (Grupo Santa Fé), que foi atribuído às acomodações isostáticas e flexurais ocorridas no interior do Cráton São Francisco entre o permiano e o cambriano (CAMPOS; DARDENNE,1997). Esta etapa é considerada o estágio tectônico Paleozoico da bacia, caracterizado por um período de fraca atividade tectônica, configurado pelo gradativo resfriamento do núcleo cratônico, e que coincidiu com a estabilização de Gondwana. Durante o Neopaleozoico e início do mesozoico, a Bacia Sanfranciscana foi marcada por uma quiescência tectônica. Esse período foi marcado pelos eventos pós-glaciais que culminaram no soerguimento isostático da bacia e na acentuada erosão dos sedimentos glaciais do grupo Santa Fé e do grupo Bambuí que serviu de embasamento para boa parte de aporte sedimentar (CAMPOS; DARDENNE 1997).

É enfim no cretáceo que há a deposição dos sedimentos de Grupo Areado e, posteriormente, a incidência do magmatismo alcalino da província ígnea do Alto Paranaíba. O Eocretáceo marca a fase de extensão da Bacia Sanfranciscana, a partir da abertura do Oceano Atlântico, sendo responsável pela subsidência mecânica da bacia (CAMPOS; DARDENNE,1997). O processo foi o agente responsável pelo abatimento da crosta na porção meridional da bacia, proporcionando um ambiente favorável para a deposição dos sedimentos, em grande parte eólicos, do Grupo Areado (SGARBI *et. al.*, 2001). O Grupo Mata da Corda está distribuído apenas na porção sul da Bacia Sanfranciscana e está relacionado ao soerguimento do Arco do Alto Paranaíba durante o Cretáceo Superior. Este estágio de evolução foi propiciado pela geração de uma série de falhamentos desencadeados pelo desenvolvimento da fase de margem passiva das bacias costeiras, que atingiram de forma mais acentuada a região mais a sul da bacia (CAMPOS; DARDENNE,1997). O magmatismo ácido gerado a partir de então é discutido por muitos autores, uma vez que originou uma série de derrames piroclásticos com afinidade kamafugítica e que é peculiar nesta área. Ainda no Neocretáceo, a Província Ígnea do Alto Paranaíba sofreu com um processo erosivo que retrabalhou as rochas efusivas ali encontradas, culminando nos depósitos epiclásticos que limitam o topo do Grupo Mata da Corda. Vale ressaltar a ocorrência de um estágio final de evolução da Bacia Sanfranciscana, qualificada, no Cenozoico, por sua reativação neotectônica (HASUI,1990). Essa fase é representada por um conjunto de falhamentos muito bem observados no Grupo Bambuí, e que determinaram o padrão de drenagem da bacia (CAMPOS; DARDENNE, 1997).



4.2 Susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa

Suscetibilidade pode ser sintetizada como a predisposição ou propensão dos terrenos ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo do meio físico (JULIÃO *et. al.*, 2009; SOBREIRA; SOUZA, 2012; DINIZ, 2012). Dessa forma análises de suscetibilidade referem-se à indicação de áreas propensas ao desenvolvimento de processos do meio físico que podem gerar desastres naturais, devido a presença de fatores predisponentes básicos em terrenos ocupados e não ocupados. Portanto, não inclui qualquer tipo de análise acerca de perigo ou risco (BITAR, 2014)

Movimentos de Massa, são movimentos de descida de solos e rochas sob o efeito da gravidade, geralmente potencializado pela ação da água. São denominados como deslizamento, escorregamento, ruptura de talude, queda de barreiras, entre outros (GUIMARÃES, 2008).

Obter o conhecimento da geologia ajuda na compreensão das características do terreno, como a declividade e relevo (CAMARGO; SOARES; GIONGO, 2018). Compreender a geologia permite a caracterização da área com relação a fatores geomorfológicos. As litologias analisadas propiciaram o entendimento dos aspectos da região, como aptidão agrícola, áreas suscetíveis a processos erosivos com ação natural. A litologia presente na área a confere em alguns pontos como alta influência para a ação da erosão, principalmente áreas de coberturas sedimentares recentes, e áreas que pertencem as Formações Lagoa Formosa e Serra da Saudade.

O vigor da vegetação (NDVI) é um indicativo da presença e da qualidade fotossintética da cobertura vegetal no solo e a mesma ajuda na interceptação das gotas de chuva, reduzindo o impacto e desestruturação do solo (efeito splash), que ocasiona principalmente selamento superficial pela argila. A vegetação também é importante na redução da velocidade do fluxo de água na superfície do solo, pois favorece a infiltração alimentando o lençol freático e favorecendo a vazão dos corpos d'água. Quanto mais próximo da cidade menos vegetação existe, e ao seu redor a vegetação possui vigor médio a moderadamente alto o que ocasiona suscetibilidade média a alta para erosões (ROCHA, 2012).

O uso do solo apresenta suscetibilidade erosiva variando de alta a média. A área pertencente ao perímetro urbano e as áreas onde a vegetação é escassa ou insuficiente possui alta suscetibilidade, pois no primeiro caso a urbanização modifica o ambiente para melhor adaptação das pessoas e no segundo há a interferência do tipo de vegetação presente e a integridade fisiológica da vegetação que nem sempre é saudável deve-se levar em conta a alteração do tipo de vegetação para atividades agrícolas.



Os solos em destaque na área são os Latossolos Vermelho e Roxo, e o Cambissolo. Geralmente os latossolos apresentam elevada concentração de argila, grandes profundidades, são bem estruturados e com alta permeabilidade de água (CREPANI *et. al.*, 2001). Esses solos em geral apresentam suscetibilidade muito baixa, exceto em situações de altas declividades e intenso uso agrícola. O Cambissolo por sua vez além de possui alta concentração de argila, são poucos profundos, e de baixa permeabilidade (JARBAS *et. al.*, 2020).

A precipitação foi a variável com a maior nota nesse estudo por ser um agente que potencializa movimentos de massa. A média histórica (1996 a 2007) na região na região é de 1500mm, sendo 150mm anuais, com uma distribuição temporal bem dividida, observa-se que a intensidade das chuvas na região é forte, sendo superior a 10mm/h, mas inferior a 50mm/h caracterizando como média a suscetibilidade. Sendo assim a suscetibilidade de chuva quanto a riscos erosivos é média.

No mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais massa (Figura 18) são apresentados três tipos de suscetibilidade: alta (vermelho), média (amarelo), baixo (verde), são pontuados três pontos próximos a área urbana para exemplificar o mapeamento de cicatrizes de movimentação e voçorocas no intuito de fortalecer as indicações de suscetibilidade. O ponto 1 no mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, que se encontra a ESE da cidade indica que os bairros: Antônio Caixeta, Boa Vista, Jardim Recanto e outros possuem alta suscetibilidade a eventos gravitacionais de massa, o que principalmente destaca-se nessa área é o Cambissolo (Figura 18A). O ponto 2 que representa a média suscetibilidade que se encontra a NNE da cidade possui os bairros Alto da Colina, Jardim Esperança, Morada do Sol, e outros (Figura 18B). A baixa suscetibilidade indicada no ponto 3, está a SSE da cidade é uma região de pouca moradia, possuindo apenas o bairro Distrito Industrial, próximo a BR 365 que possui poucos logradouros, como é demonstrado nas imagens de satélite do Google Earth (Figura 18C). Com o auxílio do mapeamento de feições erosivas como voçorocas e ravinas via sensoriamento remoto (Figura 19) plotadas no mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa. Foram observadas ravinas superficiais que marcavam o caminho preferência de descida da água, remoção de solo e voçorocas foram observadas de acordo com sua forma e tonalidade entre a porção erodida e não erodida (BATISTA, VIEIRA, MARINHO, 2018). Nota-se uma expressão maior de ravinas e voçorocas no lado esquerdo do mapa e não na cidade, mas isso está associado as atividades de Agrossilvipastoril, que consiste em atividades agrícolas, pecuária e reserva legal (FILHO, 2012).



Figura 18: Mapa de suscetibilidade natural a movimentos de massa da área urbana de Patos de Minas, Minas Gerais.

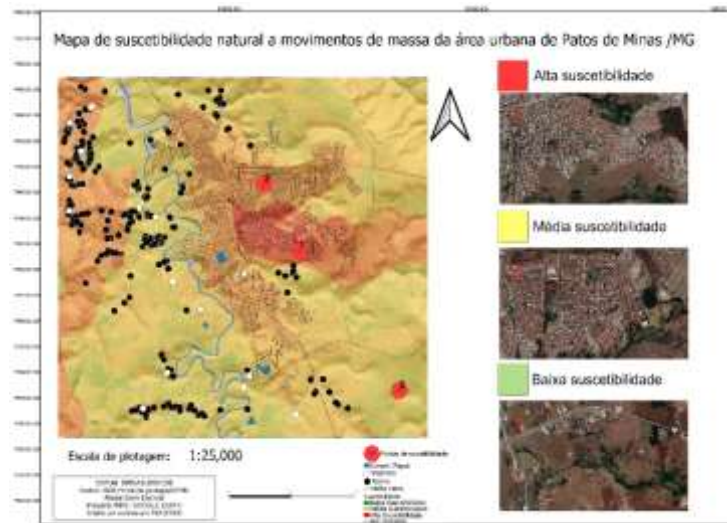


Figura 18A: Zoom do ponto 1 da área de alta susceptibilidade.

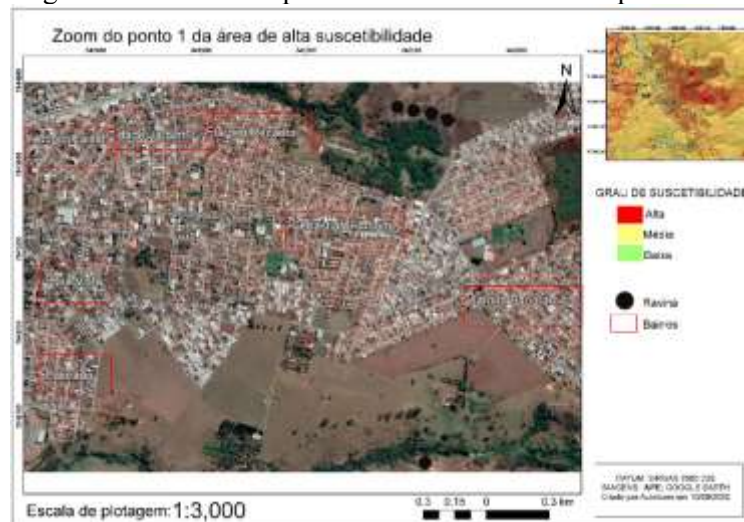
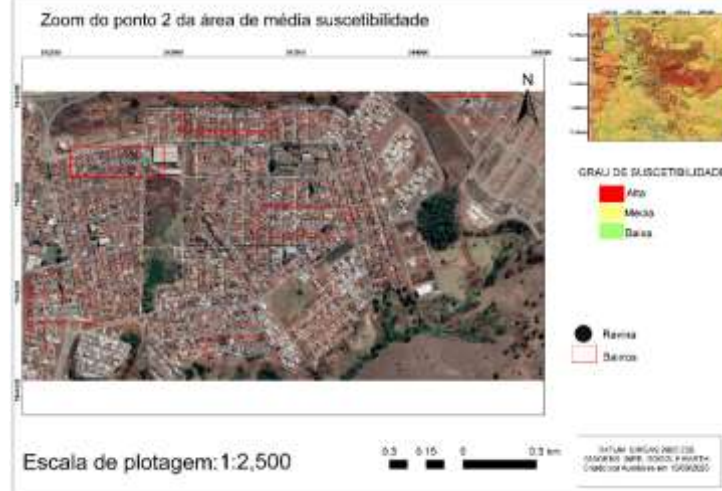


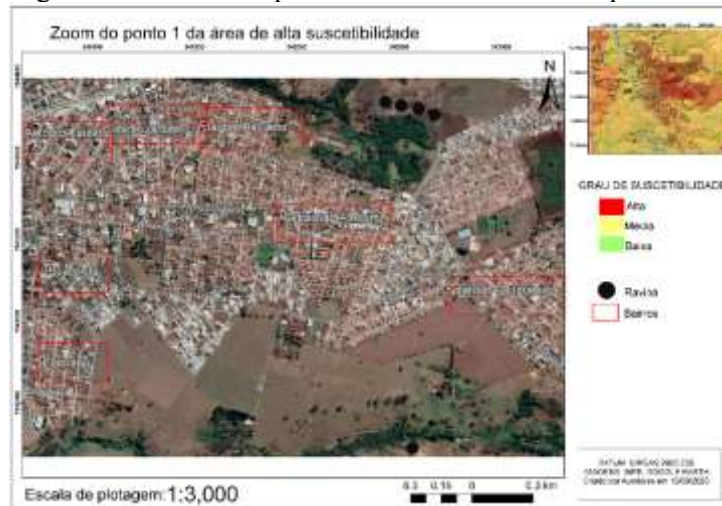


Figura 19B: Zoom do ponto 2 da área de alta susceptibilidade.



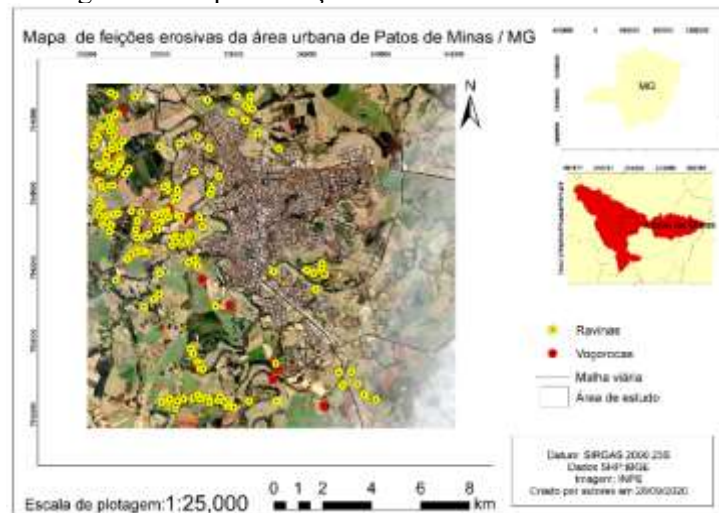
Fonte: AUTORES, 2020.

Figura 18C: Zoom do ponto 3 da área de alta susceptibilidade



. Fonte: AUTORES, 2020.

Figura 19: Mapa de feições erosivas da área de estudo.



Fonte: AUTORES, 2020



4.3 Susceptibilidade a inundação

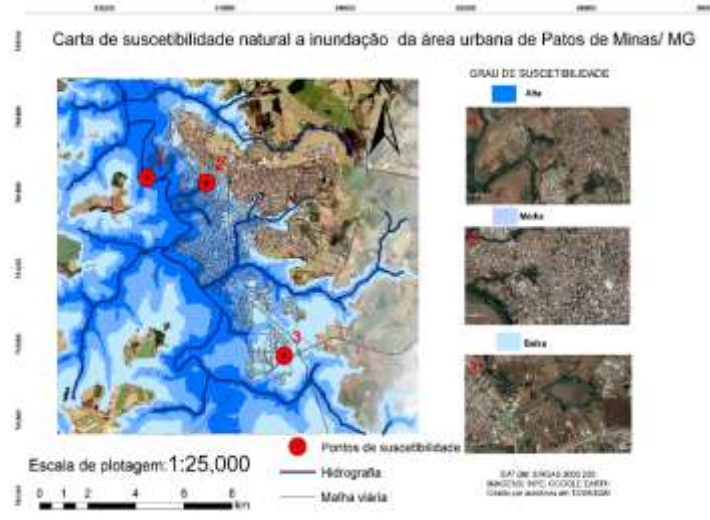
O principal componente de avaliação da inundação é a declividade. Como dito anteriormente as maiores declividades estão ao redor da cidade o que acarreta transporte de material rochoso e água para a cidade e assim para os corpos d'águas presentes na cidade e para o rio Paranaíba. A declividade influencia diretamente no acúmulo de água no terreno. Áreas planas apresentam maiores probabilidades de sofrer inundação do que áreas escarpadas, sendo áreas naturalmente inapropriadas para habitações (MAGALHAES *et. al.*, 2011). Por esse motivo, a declividade da área varia entre susceptibilidade alta a média.

Após a declividade o uso do solo se faz um grande influente no processo, pois a ocupação da terra influencia na infiltração e escoamento superficial da água (MAGALHAES *et. al.*, 2011). As áreas com maior impermeabilidade tendem a acumular mais água em superfície do que em solos com cobertura florestal por serem pouco compactados. O uso do solo apresenta média e alta susceptibilidade. O tipo de solo reflete a capacidade de infiltração e escoamento superficial. Os Latossolos possuem uma boa permeabilidade, já os Cambissolos, por sua vez, têm a permeabilidade baixa, o que pode desencadear maior transporte de material e água. A susceptibilidade desses solos é de média a baixa (MAGALHAES *et. al.*, 2011).

No mapa de susceptibilidade natural a inundação (Figura 20) apresenta três tipos de susceptibilidades alta (azul escuro), média (azul), baixo (azul claro), são pontuados três pontos próximos à área urbana para exemplificar. O ponto 1 encontra-se a ONO da cidade indica que os bairros Sorriso, Coração Eucarístico e Laranjeira possuem alta susceptibilidade a inundação (Anexo 20A). O ponto 2 está a OSO da cidade e indica que os bairros Copacabana; Guanabara, Sobradinho possuem média susceptibilidade a inundação (Anexo 20B). O ponto 3 está a SSE da cidade e indica que o bairro Planalto e Distrito Industrial II possuem baixa susceptibilidade a inundação (anexo 20C).



Figura 20: Carta de susceptibilidade natural a inundação da área urbana de Patos de Minas, Minas Gerais.



Fonte: AUTORES, 2020.

Figura 20A: Zoom no ponto 1 da área de alta susceptibilidade a inundação.



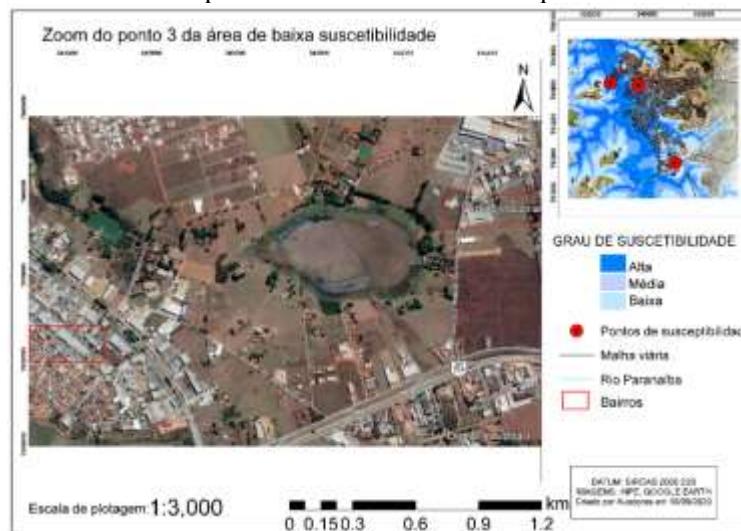
Fonte: AUTORES, 2020.

Figura 20B: Zoom no ponto 2 da área de alta susceptibilidade a inundação.



Fonte: AUTORES, 2020.

Figura 20C: Zoom no ponto 3 da área de alta suscetibilidade a inundações.



Fonte: AUTORES, 2020.

Considerações finais

As análises de suscetibilidade a movimentos de massa e inundações são fundamentais, pois são a base para a verificação ambiental, identificando informações relevantes para constatar a propensão e promover a busca por formas de mitigação. Por isso são informações basais e importantes para o plano diretor de todos os municípios, sendo essas informações importantes para a geração de outros mapas como o de risco e aptidão à urbanização, que são outros projetos que os municípios carecem ter, para melhor gerenciamento de risco, proteção da população e evolução eficaz da urbanização. Para a utilização das bases em ambiente SIG e geração dos mapas a escala trabalhada foi a de plotagem, para que assim fosse analisada cada



variável. Como foi visto na metodologia há uma grande variação de escala entre os dados, o que dificulta a realização de um estudo como esse com grande inferência de informações na escala de 1:25:000, somente com os dados disponibilizados pelo Governo. O que causa uma superestimação nos pesos da análise de multicritério. O Brasil como um todo possui carência de longa data na base cartográfica e não há padronização nas escalas dos mapas. Muitas vezes fica a cargo dos estados, municípios, e até empresas privadas realizarem mapeamentos para melhor entendimento do solo e do subsolo, o que somente ocorre quando há interesse econômico. O uso da análise de multicritério é relevante e de acessível aplicação, pois através desta ferramenta é possível combinar variáveis, elaborar mapas síntese e unir as informações, permitindo a avaliação qualitativa e quantitativa a suscetibilidade à movimentos de massa e inundação. Para a classificação de suscetibilidade de movimentos de massa a Pluviometria foi a variável de maior peso por ser o agente modificador principal que intensifica o fenômeno estudado e por sua intensidade na região devido seu clima tropical de altitude. Já na suscetibilidade a inundação a variável com maior destaque, independente do regime pluviométrico é a declividade, uma vez que áreas planas possuem a maior probabilidade de inundações do que áreas escarpadas (SANTOS; LOUZADA; EUGENIO, 2010).

A aplicação das ferramentas de SIG foram de grande importância para a realização desse estudo, pois colaboram para a geração de informações capazes de demonstrar a vulnerabilidade de áreas suscetíveis a movimentos de massa e inundações, sendo utilizadas em vários trabalhos e indicadas por órgãos como CPRM e o IPT.

A análise atende o objetivo principal de demonstrar a suscetibilidade de eventos que por sua vez tem como propósito a indicação de áreas propensas ao desenvolvimento de processos do meio físico que podem gerar desastres naturais, em frente da presença de fatores predispostos básicos encontrados em terrenos ocupados ou não ocupados. Portanto, não inclui qualquer tipo de análise acerca de perigo ou risco (BITAR, 2014).

Ao realizar o mapeamento de ravinas e voçorocas na área de Patos de Minas, observa que, do lado esquerdo onde há maior concentração de atividades do agronegócio e vegetação nativa, há também maior expressão de ravinamentos e voçorocas do que próximo à área urbana onde há algumas pastagens e terrenos desmatados. Isso deve-se ao intenso manejo do solo com as atividades agrícolas e pecuária que intensificam caminhos preferenciais para a água chegar até a área mais baixa.

As altas suscetibilidades de movimento de massa demonstraram-se onde há maior presença do Cambissolo, uma vez que é menos desenvolvido, mais argiloso e menos permeável



que os latossolos (EMBRAPA, 2018). Enquanto que as médias suscetibilidade foram identificadas na cidade e próxima a ela.

As altas e médias suscetibilidades de inundações geradas batem com históricos de inundações como os bairros Cerrado e Copacabana (BARBOSA,2019) respectivamente. Em virtude do que foi mencionado fica claro que a carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação é de grande importância para prevenção de acidentes naturais sendo conveniente que seja elaborada inicialmente para todos os municípios. Os municípios que possuem áreas de suscetibilidade média ou alta a legislação vigente exige a carta de aptidão a urbanização e da carta geotécnica de risco (BITAR; FREITAS; MACEDO,2015). O município de Patos de Minas e os demais do estado de Minas Gerais se munidos de estudos como esse, mas realizado com uma base cartográfica de escala adequada, podem aplicar uma melhor gestão territorial, promovendo tratativas eficientes que minimizem acidentes, perdas materiais e vidas.

Referências

AHP CALCULATOR, 2019. Disponível em: <https://bpmmsg.com/ahp/ahp-calc.php>. Acesso em: out.2020.

ANA. **Hidroweb**. 2020. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: out. 2020.

ALKMIM F.F. O que faz de um cráton um cráton? O Cráton do São Francisco e suas revelações almeidianas ao delimitá-lo. *In*: MANTESCO-NETO V., BARTORELLI A., CARNEIRO C.D. R., BRITO-NEVES B.B. (Ed.) **Geologia do Continente Sul-Americano**: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Ed. Beca, 2014, p. 17-35

ALVES, H. R. Gestão de desastres naturais: a utilização do princípio da vedação ao retrocesso socioambiental e a participação da população rumo à construção da resiliência urbana. João Pessoa: Direito Ambiental III: **XXIII Congresso Nacional do CONPEDI**. Tema do Evento: A humanização do direito e a horizontalização da justiça no século XXI. 30p-59p. Disponível em: <http://publicadireito.com.br/publicacao/ufpb/livro.php?gt=206>. Acesso em: dez. 2020

BARBOSA, P. **Bombeiros atendem a quase 20 ocorrências simultâneas durante forte chuva em Patos de Minas**, 4 dez. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/triangulo-mineiro/noticia/2019/12/04/bombeiros-atendem-a-quase-20-ocorrencias-simultaneas-durante-forte-chuva-em-patos-de-minas.ghtml>. Acesso em: out. 2020.

BATISTA, D C L; VIEIRA, A F S G; MARINHO, R R. Uso do "Google Earth Pro" no mapeamento de voçorocas na área urbana de Manaus (AM), Brasil. **Geosaberes**, Fortaleza, v.



10, n. 20, p. 1-12, jan./abr. 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/54737>. Acesso em: dez. 2020.

BATISTA, M.C. **Estratigrafia e Evolução Geológica da Região de Lagoa Formosa**. 2004. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2004.

BINI, G.M.P; LUIZ, E.L; GERENTE, J; GEORGES, J.R; PILLERIN, M. Uso de mapeamentos planialtimétricos nas encostas após ocorrências de movimentos de massa: Estudo de caso na bacia do Arraial do ouro, Gaspar- SC. **XVII simpósio brasileiro de geografia física aplicada**. Os desafios da geografia física na fronteira do conhecimento. Instituto de geociências – UNICAMP. 28 jun. 2017 a 02 jul. 2017, Campinas-SP. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2547>. Acesso em: set. 2020.

BITAR, O.Y; FREITAS, C.G.L.; MACEDO, E.S. **Guia cartas geotécnicas: orientações básicas aos municípios**. São Paulo: Ipt, 2015. 28 p. Disponível em: <http://www.ipt.br/publicacoes/62.htm>. Acesso em: out. 2020.

BITAR., O.Y. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações - 1:25.000**: nota técnica explicativa. Brasília, Df: Ipt – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2014. 50 p. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-5379.html>. Acesso em: out. 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado**, 2013. Brasília, DF, 2015. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/publicacoes/biomas/category/62-cerrado.html>. Acesso em: out. 2020.

CHIAVEGATTO J.R.S. **Análise estratigráfica das sequências tempestíticas da Formação Três Marias (Proterozóico Superior) na porção meridional da Bacia do São Francisco**. MS Dissertation, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1992, 216p. Disponível em: www.repositorio.ufop.br. Acesso em: out. 2020.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Mapa dos Domínios Geomorfológicos do estado de Minas Gerais. In: MACHADO, M.F; SILVA, S.F. (Org). Geodiversidade do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: **CPRM**, 2010. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16735?show=full>. Acesso em: out. 2020.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Carta Geológica: **Folha de Patos de Minas (SF.23-Y-A-VI), escala 1:100.000**. 2013. Disponível em: <http://geosgb.cprm.gov.br/downloads/>. Acesso em: out. 2020.



CPRM. **Hidrologia (Mapas e Publicações)**. 2020. Disponível em: <https://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes-173>. Acesso em: out. 2020.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; HERNANDEZ FILHO, P; FLORENZANO, T.G; DUARTE, V; BARBOSA, C.C.F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos. **Inpe**, 2001. 103 p. Disponível em: <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso em: out. 2020.

CROZIER, M. J. **Landslides: causes, consequences and environment**. New Zeland. 1986.

DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classi-ficação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 29-77, 2012

DSG. Diretoria de Serviços Geográficos. Carta Topográfica Antonina. **Folha SG.22-X-D-II-4-SO**. 2002. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-7939.1989.tb01143.x>. Acesso em: set. 2020.

EMBRAPA. **Formações de voçoroca**. Brasília-DF, 2007. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agricultura_e_meio_ambiente/arvore/CONTA_G01_58_210200792814.html. Acesso em: set. 2020.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2018. 355 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: set. 2020.

FEIZIZADEH, B; BLASCHKE, T. GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran. **Natural Hazards**, v. 65, n. 3, p. 2105-2128, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-012-0463-3>. Acesso em out. 2020.

FERNANDES, N.F; AMARAL, C. P. Movimentos de Massa: Uma Abordagem Geológica-Geomorfológica. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (org.) **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1996. p. 123-194.

FILHO, P. **AGROSSILVIPASTORIL: Integração da Lavoura, pecuária e Floresta**. 29 out. 2012. FLORATIETE. Disponível em: <http://www.floratiete.org.br/sistema-agrossilvipastoril-integracao-da-lavoura-pecuaria-e-floresta/>. Acesso em: dez. 2020.

FLAUZINO, F.S.; SILVA, M.K.A; NISHIYAMA. L; ROSA, R. Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba no cerrado mineiro. **Soc. nat.** (Online), Uberlândia, v. 22, n. 1, p. 75-91, abr. 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198245132010000100006&lng=en&nrm=iso. Acesso em: ago. 2020.



GODOY, H. **Identificação e classificação geotécnica de latossolos do Estado de São Paulo pelo método das pastilhas MCT.** 1997. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44134/tde-29102015-132258/pt-br.php>. Acesso em: nov.2020

GOLDONI, T. R.; VESTENA, L. R. Mapeamento das áreas de risco à inundação na cidade de Guarapuava-PR. **XVIII Encontro nacional de geógrafos.** A construção do Brasil: geografia, ação política e demografia. 30 jun. 2016, São Luiz/MA. Disponível em: http://www.eng2016.agb.org.br/resources/anais/7/1468193530_ARQUIVO_Thiago_Roberto_Goldoni_Artigo_ENG2016.pdf. Acesso em: set. 2020.

GOMES, C. R.; RUBERTI, E.; MORBIDELLI, I. 1990. Carbonatite complexes from Brasil: a review. **Journal of South American Earth Science**, v. 3, p.51-63. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-4889201820170123>. Acesso em: out. 2020.

HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. 1º. **Workshop sobre neotectônica e sedimentação Cenozóica continental no sudeste brasileiro.** SBG Núcleo Minas Gerais. Belo Horizonte, 1-31p, 1990.

JARBAS, T., SÁ, I.B; PETRERE, V.G.; TAURA., T. A. Cambissolos. *In: Cambissolos.* [S. l.], 20 out. 2020. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g798rt3o02wx5ok0wtedt3n5ubswf.html. Acesso em: out.2020.

JULIÃO, R. P. *et. al.* Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal. Lisboa: **Autoridade Nacional de Protecção Civil**; Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano; Instituto Geográfico Português, 2009. Disponível em: <http://www.dgotdu.pt/detail.aspx?channelID=85E8AD30-00F8-417E-9F12-EBFAFE6A5B4&contentId=3B54E44B-603C-4445-8C8A-ECC879127CEE>. Acesso em: dez. 2020.

KINGSTON, D. R; DISHROON, C. P.; WILLIAMS, P. A. 1983. Global basin classification system. **AAPG Bulletin**, v. 67, 2175-2193p. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2275/1/MONOGRAFIA_AnaliseGeofisicaRochas.pdf. Acesso em: out.2020.

KOSIN, M.; ANGELIM L. A. A; SOUZA J. D; GUIMARÃES J.T; TEIXEIRA L.R; MARTINS A.A. M; BENTO R.V; SANTOS R.A; VASCONCELOS A. M; WANDERLEY A. A; CARVALHO L. M; PEREIRA L.H. M; GOMES L. P. **Folha Aracaju SC.24.** Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo, Sistema de Informações, 2004. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/21886/1/LeonardoDaSilvaRibeiroMocitaiba_DISSERT.pdf Acesso em: nov. 2020.



LIMA O.N. B.; UHLEIN A; BRITTO W. Estratigrafia do Grupo Bambuí na Serra da Saudade e geologia do depósito fosfático de Cedro do Abaeté, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, 204-215p., 2007. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/9235>. Acesso em: out.2020

MAGALHÃES, I. A.; LOPES T.C.R.L.; AGRIZZI, D.V.; SANTOS, A.R. Uso de Geotecnologias Para Mapeamento de Áreas de Risco de Inundação Em Guaçuí, Es: Uma Análise Comparativa Entre Dois Métodos. **Cadernos de Geociências**, [s. l.], v. 8, ed. 2, 1 nov. 2011. Disponível em: www.cadernosdegeociencias.igeo.ufba.br. Acesso em: out. 2020

MENDES, P. P. M. Processo erosivo em área urbana: Condomínio Privê, cidade satélite Ceilândia-DF. **VII Congresso Brasileiro de Geógrafos**; A AGB e a Geografia brasileira no contexto das lutas sociais frente aos projetos hegemônicos 10 a 16 ago. Vitória/ES. Disponível em: http://www.cbg2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404586983_ARQUIVO_Pedro_Paulo_Mesquita_Mendes_CBG.pdf. Acesso em: nov. 2020.

MARTINS, T. D.; OKA-FIORI, C.; VIEIRA, B. C. Mapeamento de Cicatrizes de Escorregamentos Utilizando Imagem Multiespectral. **Revista do Departamento de Geografia–USP**, v. 30, p. 96-109, 2015. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002752461> Acesso em: set. 2020

MOURA, A. C. M. Reflexões Metodológicas como Subsídio para Estudos Ambientais Baseados em Análise de Multicritérios. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil. abr. 2007. p.2899-2906. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.13.14.41/doc/2899-2906.pdf>. Acesso em: out.2020

OLIVEIRA, F.F.; SANTOS, C.; V., R.E.S.; ARAUJO, R.C. Processos erosivos: dinâmica, agentes causadores e fatores condicionantes. **Revista Brasileira de Iniciação Científica (RBIC)**, Itapetininga, v. 5, n.3, p. 60-83, abr./jun., 2018. Disponível em: <https://periodicos.itp.ifsp.edu.br/index.php/IC/article/view/699>. Acesso em: set.2020

PARANAÍBA, Cbh. **Domínio dos Corpos Hídricos Superficiais**. 2014. Disponível em: <http://www.cbhparanaiba.org.br/galeria-de-mapas>. Acesso em: out. 2020

PARK, S.; JEON, S.; CHOI, C. Mapping urban growth probability in South Korea: comparison of frequency ratio, analytic hierarchy process, and logistic regression models and use of the environmental conservation value assessment. **Landscape and Ecological Engineering**, v. 8, n. 1, p. 17-31, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/238493306_Mapping_urban_growth_probability_in_South_Korea_Comparison_of_frequency_ratio_analytic_hierarchy_process_and_logistic_regression_models_and_use_of_the_environmental_conservation_value_assessment. Acesso em: out. 2020.



RASSI, R.; BICALHO, R. L.; PETRONZIO, Juliana Abreu Crosara.; SILVEIRA, A. Caracterização geológica, geomorfológica e pedológica de Patos de Minas (MG): contribuição à interpretação das feições erosivas. **XVII simpósio brasileiro de geografia física aplicada e i congresso nacional de geografia física**, 1., 2017, Campinas. E-book. Campinas: Unicamp, 2018. p. 6434-6439. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2334>. Acesso em: out. 2020.

ROCHA, F. Grande deslizamento de terra no prolongamento da Fátima Porto faz Defesa Civil interditar pista. Patos de Minas/MG. 12 nov. 2018. **Patos Hoje**. Disponível em: <https://www.patoshoje.com.br/noticia/grande-deslizamento-de-terra-no-prolongamento-da-fatima-porto-faz-defesa-civil-interditar-pista.39335.html>. Acesso em: out. 2020.

ROCHA, L. **ArcGIS**: gerar NDVI para imagens Sentinel-2. Processamento Digital, São Paulo, 20 jul. 2018. Disponível em: <http://processamentodigital.com.br/2018/07/20/arcgis-gerar-ndvi-para-imagens-sentinel2/#:~:text=O%20QUE%20É%20NDVI&text=O%20cálculo%20do%20NDVI%20é,das%20reflectâncias%20dessas%20duas%20bandas>. Acesso em: out. 2020.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (ed.). Cerrado: ambiente e flora. Brasília: **Embrapa Cerrados**, 1998. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/554094/fitofisionomias-do-bioma-cerrado>. Acesso em: set. 2020.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/document?vid=ce62fc56-3def-4e78-a242-a82fc09575a5>. Acesso em: out. 2020.

SAATY, T. L.; VARGAS, L. G. Estimating Technological Coefficients by the Analytic Hierarchy Process. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 13, n. 6, p. 333-336, 1979. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037722179090056H>. Acesso em: out. 2020.

SAMPAIO, E. da S. **Análise multicritério de alternativas para um novo curso superior em instituição de ensino tecnológico**. 2018. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá - SP, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/157509>. Acesso em: out. 2020.

SANTOS, A. R.; LOUZADA, F. L. R. O.; EUGENIO, F.C. **ArcGis 9.3 Total**- Aplicações para Dados Espaciais. 2.ed. Alegre: CAUFES, 2010. Disponível em: http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_ArcGIS%209.3_Aplicacoes_Para_Dados_Espaciais/Livro_ArcGIS93_Total.pdf. Acesso em: out. 2020.

SANTOS, A. R. dos.; LOUZADA, F. L. R de O.; EUGENIO, F. C. (Coord.). **ArcGIS 9.3 total**: aplicações para dados especiais. Alegre, ES: Ciências Agrárias Universidade Federal do



Espírito Santo/CAUFES, 180 p., 2010. Disponível em: http://www.mundogeomatica.com.br/Livros/Livro_ArcGIS%209.3_Aplicacoes_Para_Dados_Espaciais/Livro_ArcGIS93_Total.pdf. Acesso em: out. 2020.

SGARBI, G. N. C. Geologia da Formação Areado, Cretáceo Médio a Inferior da Bacia do São Francisco, oeste do Estado de Minas Gerais. **Inst. de Geociências**, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 324p. 1989. Disponível em: <http://bjg.siteoficial.ws/1997/n.3/5.pdf> Acesso em: outubro/2020.

SGARBI G. N. C.; SGARBI P. B. A.; CAMPOS J. E.; DARDENNE M. A.; PENHA U. C. 2001. Bacia Sanfranciscana: o registro fanerozóico da Bacia do São Francisco. *In*: PINTO C. P.; MARTINS-NETO M. A. Bacia do São Francisco-Geologia e Recursos Naturais. Belo Horizonte, **SBG-MG**, 93-138p. Disponível em: https://repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/999/1/ARTIGO_ArcabouçoEstruturalBacia.pdf. Acesso em: out. 2020.

SGARBI, P. B. A.; VALENÇA, J. G. Kalsilite in Brazilian kamafugite rocks. **Mineralogical Magazine**, v. 57, 1993, p. 165-171. Disponível em: www.ppegeo.igc.usp.br. Acesso em: out. 2020.

SIGNORELLI, N.; FÉBOLI, W.L.; TULLER, M.P.; RIBEIRO, J. H. Extensão areal da Formação Serra da Saudade, Grupo Bambuí, para a região centro-sul de Minas Gerais. **Anais, Repositório Institucional de Geociências**, 2008. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/754> acessado 13-10-2020. Acesso em: out. 2020.

SILVA A. J. P.; LOPES R.C.; VASCONCELOS A. M; BAHIA R. B. C. Bacias sedimentares paleozóicas e mesocenozóicas interiores. *In*: BIZZI L. A., SCHOBENHAUS C., VIDOTTI R. M., GONÇALVES J. H. (ed.) Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. Brasília, Serviço Geológico do Brasil. **CPRM/MME**, 2003, p.55-85. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/recursos_minerais/livro_geo_tec_rm/capII.pdf. Acesso em: out. 2020.

SILVA, A. N.; MARCHETTO, M.; SOUZA, O. M. de. 1979. **Geologia do Complexo carbonático de Araxá, Minas Gerais**. *Mineração e Metalurgia*, v. 43, p. 14-18. Disponível em: repositorio.unb.br/2009_ElisaSoaresRochaBarbosa. Acesso em: out. 2020.

SILVA, M. H. C. R. **Bacia Hidrográfica do rio Paranaíba: análise da dinâmica populacional, mudanças no uso do solo e impactos na disponibilidade hídrica**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, dez. 2012. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/5258>. Acesso em: out. 2020.

SILVA, T.C. **Mapeamento das manchas de inundação para a cidade de Matias Barbosa – MG**. 2016. 69 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Faculdade de Engenharia da Ufff, Juiz de Fora, 2016. Disponível em: https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TabathaCarvalho_TCC_FINAL.pdf. Acesso em: out.2020.



SILVA V. C. B.; MACHADO P. S.; BAHIA R. B. C. Sig na análise ambiental: Susceptibilidade erosiva da bacia hidrográfica do córrego Mutuca, Nova Lima- Minas Gerais. **Revista de Geografia**. v. 31, n. 2, 2014, p. 1-22. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229090>. Acesso em: out. 2020.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v. 2, p. 79-97, 2012. Disponível em: <https://www.abge.org.br/volume-2-n-1>. Acesso em: jul. 2020.

SOUSA, M. E; FILHO, N. E. S. S; PEREIRA, L. A; LYRA, L. H. B. Monitoramento e caracterização do assoreamento no rio São Francisco nas orlas urbanas de Petrolina-PE e Juazeiro-BA. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, Sobral-CE, v. 15, p. 68-80, 2013. Disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/145> Acesso em: nov. 2020.

SOBREIRA, F. G.; SOUZA, L. A. de. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 79-97, 2012.

TOMINAGA, L. K; SANTORO, J; AMARAL, R. Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: **Instituto Geológico**, 2009. 197p. Disponível em: http://www.sidec.sp.gov.br/defesacivil/media/OSDownloads/1438375861_DesastresNaturais.pdf. Acesso em: out. 2020.

UHLEIN, A.; DARDENNE, M A.; SEER, H. J.; MORAES, L. C.; BAPTISTA, M. C.; NOCE, C. M.; FRAGOSO, D. G. C.; DIAS, P. H. A.; MOREIRA, G. C. A Formação Lagoa Formosa e a estratigrafia do Grupo Bambuí em Minas Gerais. **XLV Congresso Brasileiro de Geologia**, 2010.

UHLEIN A.; LIMA O. N. B.; FANTINEL L. M.; BAPTISTA, M. C Estratigrafia e evolução geológica do Grupo Bambuí, Minas Gerais. **SBG, Congresso Brasileiro de Geologia**, 42, 2004, Roteiro Geológico, Excursão 2. Disponível em: periodicos.ufmg.br Acesso em: out. 2020.

VASILJEVIC, T. Z.; SRDJEVIC, Z.; BAJCETIC, R.; MILORADOV, M. V. GIS and the analytic hierarchy process for regional landfill site selection in transitional countries: a case study from Serbia. **Environ. Manag.**, v. 49, n. 2, p. 445-58, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/51847047_GIS_and_the_Analytic_Hierarchy_Process_for_Regional_Landfill_Site_Selection_in_Transitional_Countries_A_Case_Study_From_Serbia. Acesso em: out. 2020.