4.
A Vulnerabilidade e risco ambiental da Bacia Bengalas

4.1.
Metodologia

Foram utilizados para esta pesquisa:

- Mapa topográfico do IBGE, em escala 1:25.000, de 1998, em formato digital
- Mapa geológico do CPRM, em escala 1:100.000, de 2007, em formato digital
- Mapa geomorfológico do INEA, em escala 1:50.000, de 2007, em formato digital
- Mapa de hidrografia do IBGE, em escala 1:25.000 de 1998, em formato digital
- Mapa pedológico do INEA, em escala 1:50.000, de 2007, em formato digital
- Mapa de uso e cobertura do solo do INEA, 1:50.000, de 2010, em formato digital
- Dados hidrometeorológicos da ANA, anos 1984 a 2014, em fomato digital
- Mapa de Unidades de Planejamento Territorial de 2007, na escala 1:50.000, Prefeitura Municipal de Nova Friburgo
- Imagem IKONOS (Janeiro, 2011) – mapeamento dos deslizamentos e inundações.
- Lei Complementar nº 24, de 28 de dezembro de 2007- Plano Diretor Participativo de Nova Friburgo
- Lei Federal 10.257/2001- Estatuto das cidades
- Dados censitários 2010 do IBGE
- Questionário local, com amostra de 383 pessoas do 1º Distrito, total de 113.108, realizado de dezembro a março de 2015. (Margem de erro: 5% e Índice de confiança de 95%)
- Programa ArcGIS, versão 10.2.2, © ESRI.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

O processo de modelagem ambiental considera inúmeras variáveis em escalas diferenciadas. Para associá-las afim de um objetivo em comum é preciso usar a modelagem computacional, utilizando o sistema de notas e pesos de acordo com o grau de vulnerabilidade de cada elemento.

Nesse trabalho foi utilizado o programa ArcGIS, versão 10.2.2 para concatenar os dados, gerando informações associadas. É importante frisar que na modelagem de acordo com ROSS (1994) deve-se ponderar (notas) cada fator, para assim, associá-los em pesos diferenciados conforme o grau de importância a escolha do técnico, baseado na literatura e conhecimento do local. Portanto, para a análise física da vulnerabilidade analisou-se os dados de precipitação, geologia (tipologia e descontinuidades), geomorfologia (amplitude altimétrica e declividade), pedologia, hidrografia e uso e cobertura do solo, além do histórico de inundações e deslizamentos de 2011. Utilizou-se como base as notas e pesos dos trabalhos de ROSS (1994) e BAPTISTA (2009) para fazer as ponderações e a média final delas.

O objetivo da pesquisa foi analisar a construção social do risco ambiental, portanto, como a vulnerabilidade do lugar afeta/rá a vida da sociedade. Com isso, baseou-se em ALVES (2007) e TORRES (1997) para analisar a vertente social e assim a constituição do risco. As varáveis analisadas estão correlacionadas a indicadores sociais do censo demográfico de 2010, levando em consideração o abastecimento de água, esgotamento sanitário, destino do lixo e renda. Além dessas variáveis, o questionário com a população do local também é inserido na análise das injustiças ambientais, através da percepção ambiental da população.

Utilizou-se a modelagem ambiental porque foi considerada a mais palpável no sentido do mapeamento das áreas de maiores riscos. Atingindo parte do objetivo central de localização das vulnerabilidades. A modelagem ambiental, como visto, possui limitantes de acordo com a escala de disponibilidade de dados e, por embora associar, analisa os dados separados, em um primeiro momento.

Os pesquisadores que usam a modelagem colocam a subjetividade da pesquisa nas ponderações e, por isso, embora possam usar a mesma metodologia chegam a resultados diferentes de acordo com seu conhecimento e a sua vivência.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

Neste trabalho, embora a modelagem de ROSS (1994) ser o embasamento físico, as suas ponderações foram modificadas de acordo com cada variável, assim como embasamento demográfico. Cada local possui suas especificações devido aos processos históricos e seus atores sociais.

4.2. Método: vulnerabilidad física

A vulnerabilidade ambiental da Bacia Bengalas é composta pela associação das vulnerabilidades físicas (precipitação, geologia, pedologia, geomorfologia, hidrografia e uso e cobertura do solo) e demográficas (abastecimento de água, esgotamento sanitário e destino do lixo).

4.2.1. Precipitação

Para a ponderação utilizou-se os critérios de notas de 1 a 5. Sendo o 1 menos e o 5 a mais vulnerável. De acordo com os autores embasados para a modelagem, áreas até 1000 mm anuais possuem fragilidade muito baixa, (Tabela 4), assim sendo na área não existe esta classificação. Entende-se que nesse quesito, como a área está em um clima tropical e próxima ao oceano, embora em uma altitude diferenciada do Rio de Janeiro, as constantes pluviométricas serão maiores. Assim sendo, a precipitação será sempre uma variável essencial para compreender possíveis desastres ambientais.

Entre 1000 e 2000 mm anuais, foi considerado com uma fragilidade baixa, recebendo o nota 2. Entre esses dados mostra-se uma distribuição mais regular ao longo do ano, embora os meses de verão apresentem uma concentração. Contudo, a estação de Teodoro de Oliveira além de apresentar uma pluviosidade média acima de 3000 mm anuais, indicou uma concentração acentuada no mês de Janeiro. Essa concentração gera uma saturação rápida do solo o que pode gerar os movimentos de massa, e por isso, ela é considera com uma fragilidade alta, recebendo esta nota 4.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

Tabela 4: Histórico de precipitação e ponderação (ANA, 2014)

Estações	Média Total 1984 a 2014	Média Janeiro 1984 a 2014	Nota
Vargem Alta	1484,276768	304,461290	2
Vargem Grande	1344,811111	289,441935	2
Fazenda Mendes	1327,898990	281,932258	2
Teodoro de Oliveira	3044,180808	460,658065	4

O primeiro fator analisado foi o histórico de precipitação (1984-2014) de quatro estações pluviométricas que estão próximas a área de estudo (Anexo 4). São elas: Fazenda Mendes, Vargem Grande, Vargem Alta e Teodoro de Oliveira. (Figura 9- Distribuição de Chuvas). Através das informações especializadas nota-se uma concentração maior de chuvas ao sul da bacia.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

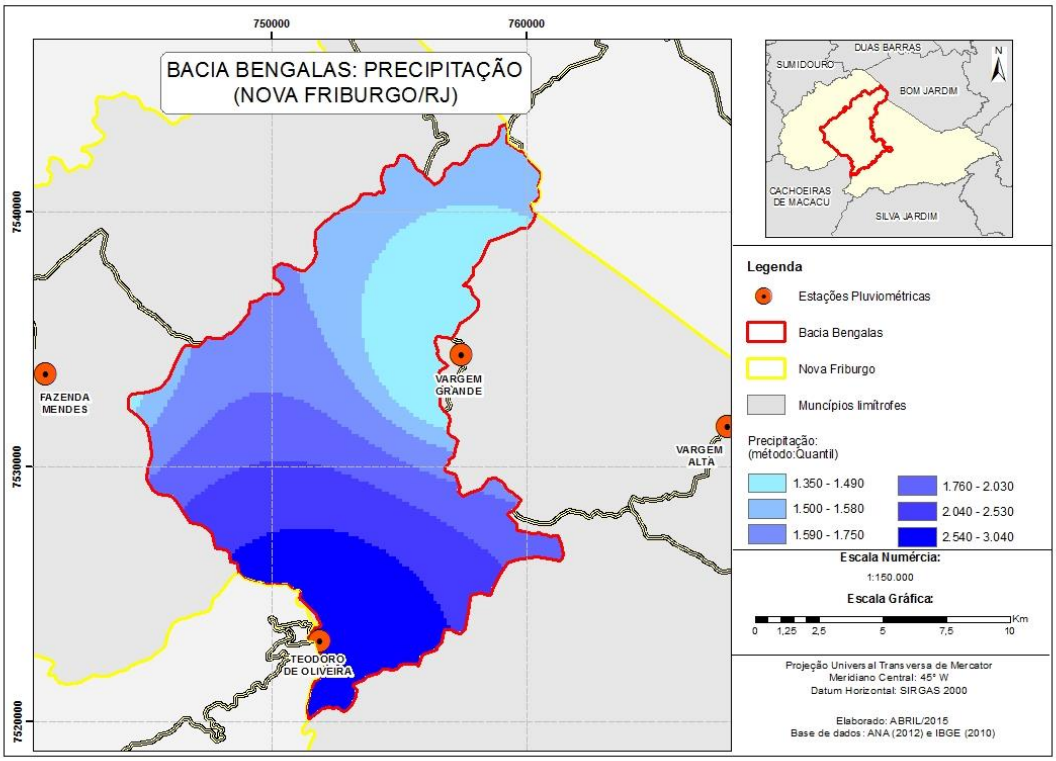

Figura 9: Mapa de Precipitação da Bacia Bengalas.

Constatou-se ainda, que nos anos em que ocorreram volumes hídricos acentuados, meses de Janeiro a Abril, foram os mesmos em que existiram movimentos de massa ou inundações. Essa análise mostra a importância da variável pluviométrica para a vulnerabilidade local. O clima da área é tropical de altitude, de acordo com a classificação de Köppen, Possui por característica,

chuvas concentradas no verão (principalmente a barlavento da Serra do Mar). afetando diretamente no risco as populações locais. (Figuras 10 e 11)

A variável hídrica, contudo, isoladamente, não responde aos desastres ambientais com precisão. Analisando o histórico de desastres e contrapondo aos dados pluviométricos dos últimos anos, percebe-se que ele não é o único fator para desencadear esses movimentos.

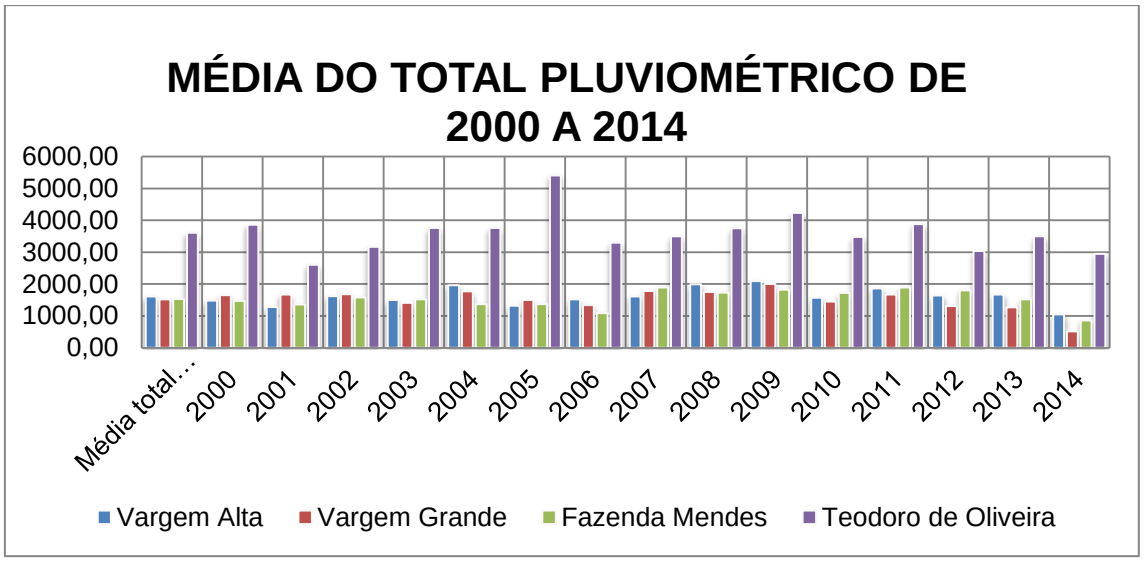

Figura 10: Média Pluviométrica (ANA, 2014).

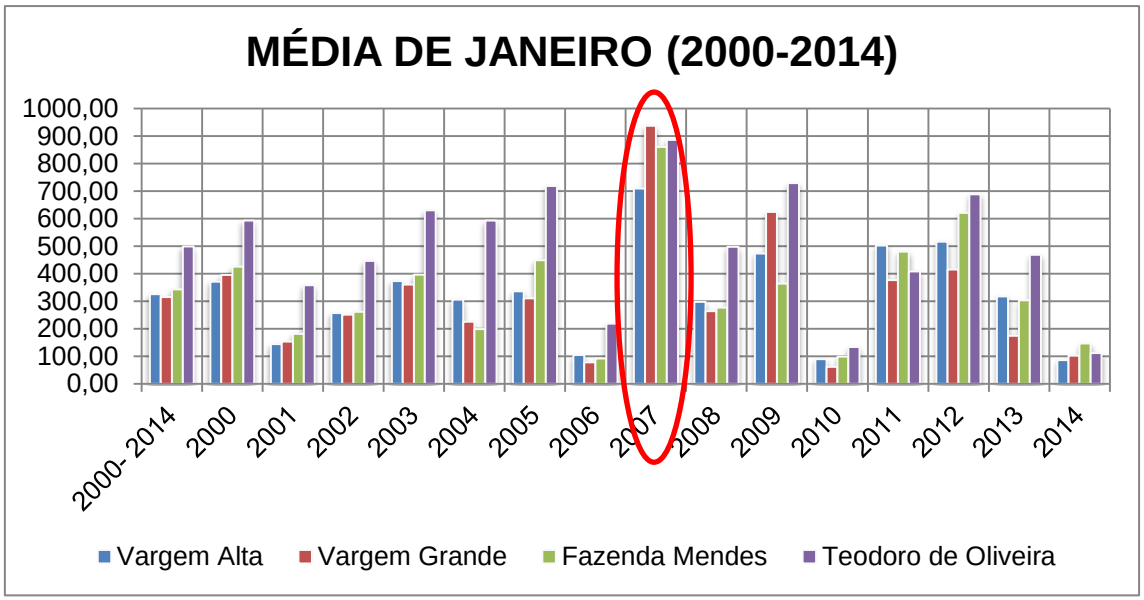

Figura 11: Média Pluviométrica de Janeiro 2000- 14 (ANA, 2014).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

De acordo com o Atlas brasileiro de desastres naturais (2013), quatro dos desastres estão localizados nesse período, os anos de 2005, 2006, 2007 e 2011. Em 2005 apresenta uma precipitação anual além da média nas estações de Fazenda Mendes e Teodoro de Oliveira. Em 2006 e 2007, não apresentam grande variação de acordo com a média.

Em 2007, verifica-se um grande volume pluviométrico em Janeiro, o que caracteriza chuvas torrenciais. Analisando a média diária de chuvas, em 2006 a variação pluviométrica continua na média, ressaltando assim a influência de outros fatores para desencadear as inundações desse ano. Já em 2011, de acordo com os dados da ANA, entre os dias 11e 13 de janeiro, precipitou 327, 4 mm na estação Fazenda Mendes, 385,1 mm em Vargem Alta e 201,8 mm em Vargem Grande, mostrando uma alta concentração nesses dias, sendo um desencadeador dos desastres ocorridos nessa época. (anexo 2)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

4.2.2. Geologia

Os granitos apresentam maiores estabilidades frente aos agentes externos comparados aos depósitos colúvio-aluvionares. Assim sendo, ponderou-se de acordo com a maior estabilidade. Os granitos por serem mais estáveis comparativamente receberam nota 1, isto é com fragilidade muito baixa.

As unidades geológicas de Conselheiro Paulino, Trajano de Moraes, Rio Negro, Serra dos Orgãos, Imbê, São Fidelis e Cordeiro apresentam uma boa estabilidade. Enquanto comparado com os granitos de Nova Friburgo e Serra dos Orgãos apresentam maior suscetibilidade aos eventos externos. Por isso, foram ponderados com nota 2.

A área em questão apresenta áreas geológicas mais estáveis. Ás áreas urbanas estão mais próximos aos depósitos colúvio-aluvionares, visto que estão em áreas com menor declividade, sendo mais fácil a ocupação. Os depósitos colúvio-aluvionares, são formados no período quaternário, sendo mais recentes e mais vulneráveis aos processos intempéricos e erosivos (Tabela 5).

Tabela 5: Unidades Geológicas e Ponderações.

NOME DA UNIDADE	Nota
Granito Nova Friburgo	1
Granito Serra da Onça	1
Granito Sana	1
Conselheiro Paulino	2
Trajano de Moraes	2
Rio Negro	2
Serra dos Orgãos	2
Imbê	2
São Fidélis, quartzito	2
Cordeiro	2
São Fidélis, kinzigito	3
Rio Negro, gabro	3
São Fidélis, anfibolito	4
São Fidélis, sillimanita-biotita gnaisse	4
Depósitos gravitacionais (tálus)	4
Depósito Colúvio-Aluvionar	5

A variável geológica é composta pela característica litológica e pelas descontinuidades (diques, falhas e fraturas). Essas duas características podem gerar uma maior facilidade ao intemperismo e erosão pluvial, culminando em possíveis deslizamentos. (Figura 12)

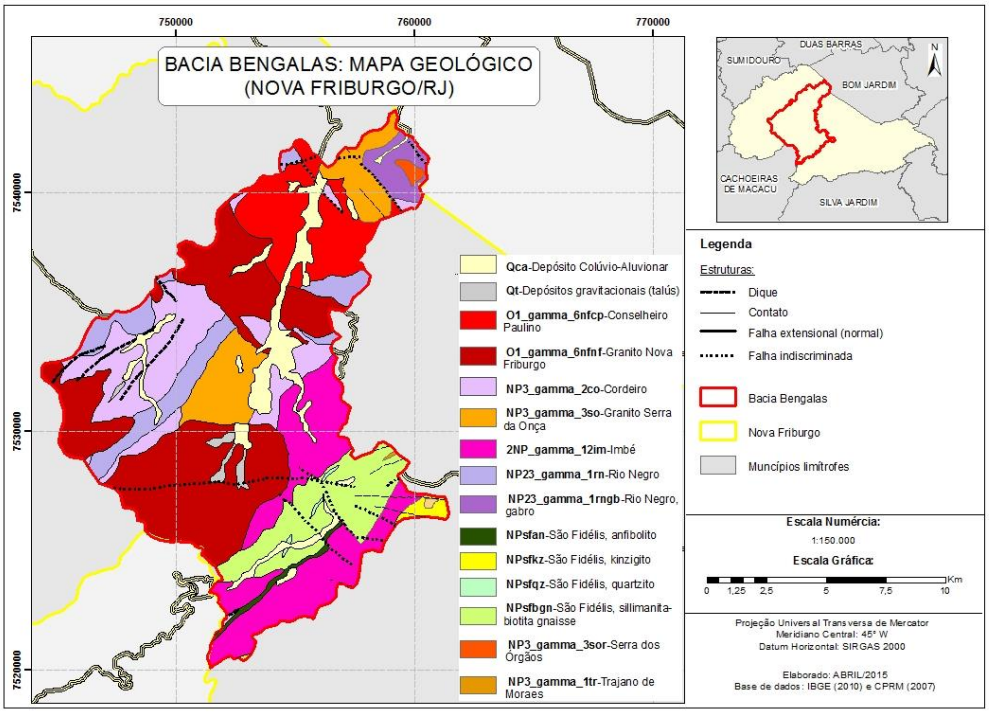

Figura 12: Mapa Geológico da Bacia Bengalas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

Cabe destacar que, embora as descontinuidades não sejam ponderadas, elas compõem a análise do risco, já que, os escoamentos subsuperficiais atuam com maior facilidade nessas áreas, conforme abordado por Cunha & Guerra (2003).

4.2.3. Pedologia

Os solos são essenciais para compreender os processos de movimentos de massa e inundações. De acordo com o solo pode haver dificuldade de infiltração e assim acentua os escoamentos superficiais e subsuperficiais ou alagamento facilitando o processo de inundação.

Com base em ROSS (1994), o Latossolo foi considerado com fragilidade baixa, nota dois, já que, ele possui uma alta porosidade. Essa característica permite a percolação da água. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2006), o Argissolo e Cambissolo possuem maior vulnerabilidade frente aos processos erosivos, assim sendo, eles foram ponderado com nota 4, com fragilidade alta.

O Afloramento Rochoso, não possui camada de sedimentos, assim sendo não há escoamento subsuperficial, não influenciando diretamente nos movimentos de massa. Contudo, essa variável entre em discussão, já que, aumenta a força das águas, podendo impactar a posterior.

Os Neossolos (Neossolo Litólico e Litossolo Podzólico Vermelho-Amarelo) foram classificados com nível 5, uma vez que estes contém características do material de origem, pequena profundidade e difícil infiltração (Embrapa, 2006). No nível 5 com maior vulnerabilidade, também foi classificada a área urbana, com uma grande impermeabilização, esse elemento facilita o escoamento e dificulta a infiltração, contribuindo para os movimentos de massa e inundações. (Tabela 6).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

Tabela 6: Tabela Pedológica e ponderações.

Pedologia	Notas
Afloramento Rochoso	1
Latossolo Vermelho	2
Argilossolo Vermelho-Amarelo	4
Cambissolo Háplíco	4
Neossolo Litólico e Litossolo Pod. Vermelho-Amarelo	5
Area Urbana	5

Os solos também compõe a análise, visto que, nitidamente sobre eles que as relações sociais ocorrem. De acordo com Fernandes e Amaral (2009), uma menor porosidade e permeabilidade do solo, em eventos intensos, pode gera uma diminuição no processo de infiltração, facilitando o acúmulo da água em um menor tempo culminando na saturação do solo e assim, em movimentos de massa. (Figura 13)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

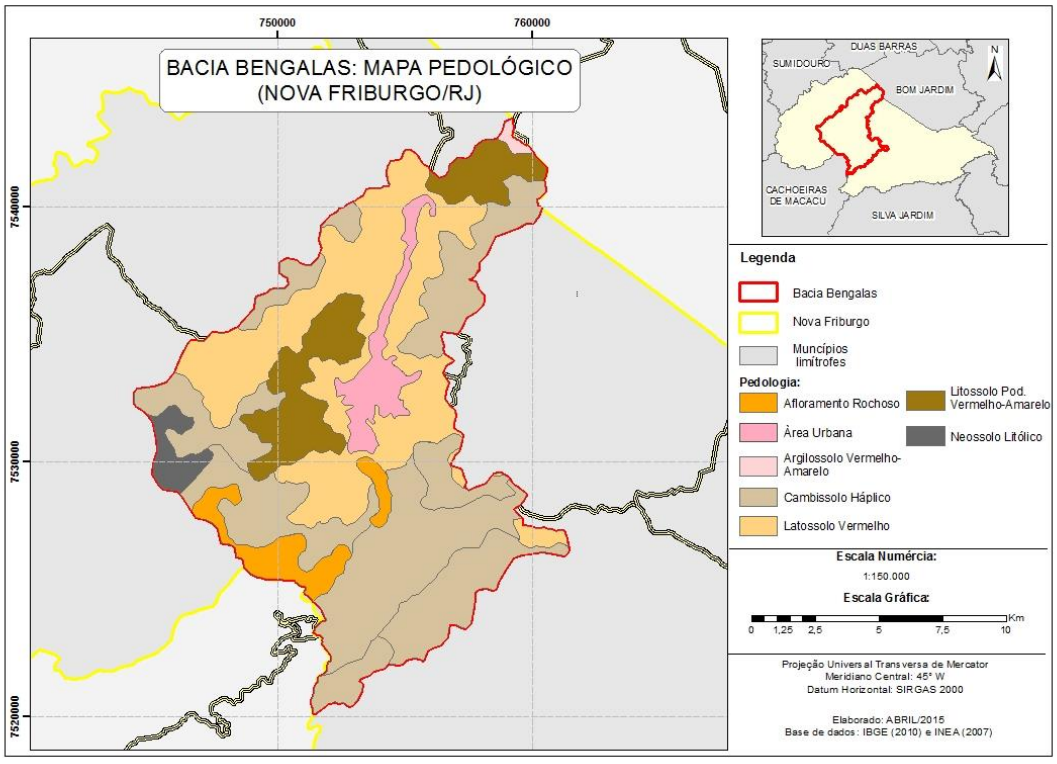

Figura 13: Mapa Pedológico da Bacia Bengalas.

A distribuição da variedade de solos na área, leva em consideração a maior ou menor atuação dos processos pedogenéticos. Nessa variável foi considerado o afloramento rochoso com menor vulnerabilidade, visto que, ele não contém solo, logo fica mais estável a possíveis desastres (deslizamentos).

4.2.4. Uso e Cobertura do solo

A forma como ocorre a ocupação urbana podem intensificar ou proteger dos agentes externos. A floresta apresenta uma intensa cobertura vegetal e de serapilheira, este quesito facilita a percolação da água gradualmente no solo, não saturando diretamente.

O reflorestamento indica uma proteção do solo não tão intensa quanto as florestas, portanto apresenta uma vulnerabilidade baixa, nota 2. Assim como este vetor, a ocupação urbana com baixa densidade também possui esse peso. Essa forma de ocupação mostra que a um espraiamento da impermeabilização do solo e pressão urbana.

A pastagem e ocupação de média densidade apresentam grau de vulnerabilidade média. Com a pastagem não há a proteção intensa do solo, assim sendo, o processo de infiltração é mais acentuado chegando a uma saturação mais rápida. A impermeabilização do solo mais acentuada, no caso da ocupação média indica um processo de escoamento mais rápido.

A vegetação secundária em estágio inicial apresenta baixíssima cobertura vegetal, deixando o solo exposto. Os processos de intemperismo e erosão são mais característicos, assim como na exposição da rocha. Essas duas recebem como notas 4 e 5, respectivamente, isto é, vulnerabilidade alta e muito alta. (Tabela 7)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

Tabela 7: Tabela de Uso e Cobertura e ponderações.

USO	Notas
Floresta	1
Reflorestamento	2
Ocupação Urbana de Baixa Densidade	2
Pastagem	3
Ocupção Urbana de Média Densidade	3
Vegetação Secundária em Estágio Inicial	4
Afloramento Rochoso	5

Na área central encontra-se a ocupação urbana mais intensa, na qual há a presença do rio Bengalas. A maior parte do sul da bacia possui cobertura vegetal intensa e isso estimula uma maior proteção do solo.

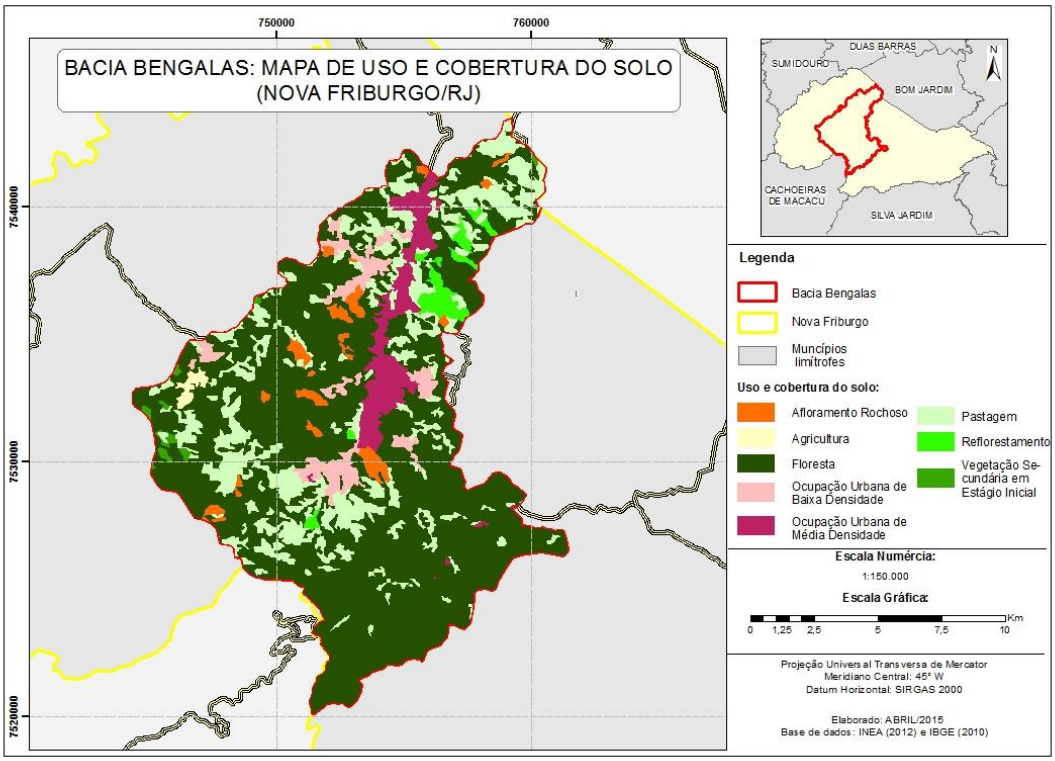

Figura 14: Mapa de Uso e Cobertura da Bacia Bengalas.

A maior atividade humana e menor também impactam diretamente nessa variável, áreas de intensa ocupação indicam alta impermeabilização, e assim mais vulnerabilidade.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

4.2.5.
Geomorfologia

A amplitude altimétrica e declividade são variáveis importantes para a análise. Quanto maior a declividade e amplitude altimétrica, maiores as chances de deslizamento. Portanto, nos estudos da área, a parte mais plana é até 500 metros, apresentando uma vulnerabilidade muito baixa quanto aos movimentos de massa. A inundação vai em contrapartida da análise dos deslizamentos, por isso, será analisada no 4.2.7 Hidrografia.

Tabela 8: Tabela de Amplitude Altimétrica e ponderações

Amplitude Altimétrica	Notas
0-500	1
501-1000	2
1001-1500	3
1501-2000	4
2001-2500	5

Tabela 9: Tabela de Declividade e ponderações

Declividade	Peso
0-6%	1
6-12%	2
12-20%	3
20-30%	4
>30%	5

Para a análise final dessa variável é preciso retirar a média entre os dois indicadores. Essa média é necessária para que todos os elementos que compõe o estudo tenham a mesma importância. (Equação 1)

Equação 1

$$\sum (Amplitude\ Altimétrica + Declividade)\ /_2$$

Dentre as características geomorfológica analisadas, encontram-se a declividade e a amplitude altimétrica. Áreas com maior declividade e amplitude

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

altimétrica indicam maior força erosiva das águas e assim, maior vulnerabilidade. (Figura 15)

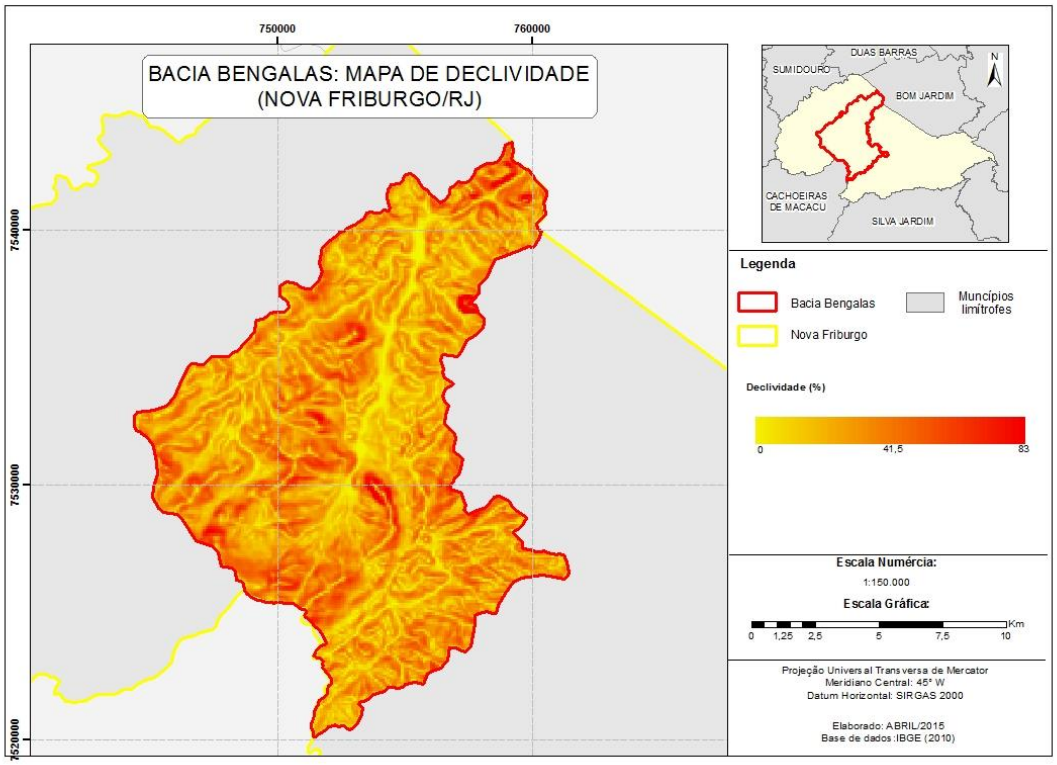

Figura 15: Mapa de declividade da Bacia Bengalas.

4.2.6. Hidrografia

Os dados de hidrografia foram obtidos em escala 1:25.000, para analisa-los utilizou-se o modelo digital de elevação hidrograficamente condicionado (MDEHC) criando no ArcGIS 10.2.2, com as curvas de nível e hidrografia. (Figura 16)

As áreas possíveis de inundação foram calculadas associando a hidrografia com as áreas côncavas e áreas planas obtidas pelo MDEHC, assim sendo, áreas acumuladoras. Nesse processo foi considerado as áreas marginais do rio, em relação ao uso e cobertura do solo. Áreas com vegetação secundária em estágio inicial e ocupação urbana interferiram de modo negativo para a preservação dos rios.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

Comparando as informações e ponderações, contata-se no mapa de vulnerabilidade local (Figura 17), central e centro-oeste como as mais propícias aos movimentos de massa. Confrontando o mapeamento final com as áreas inundáveis adquiridas no MDEHC, há uma modificação deste panorama, acrescentando o noroeste da bacia, como área de probabilidade de ocorrência de deslizamentos e inundações.

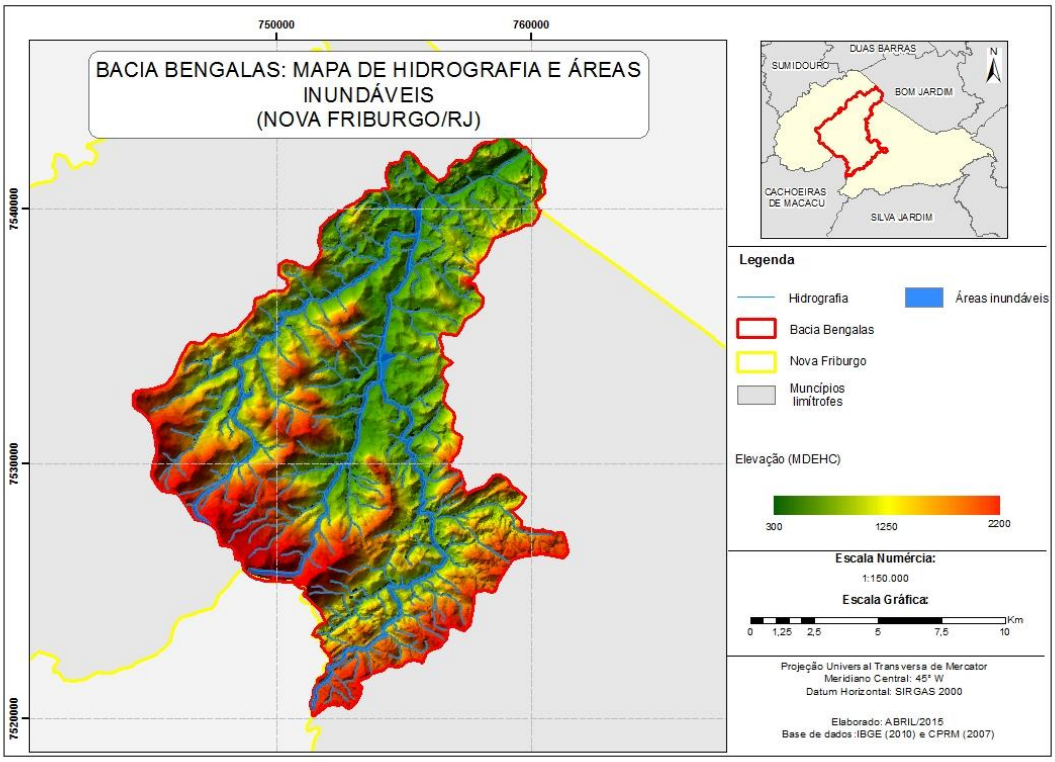

Figura 16: Mapa de Hidrografia e Modelo Hidrologicamente Condicionado da bacia Bengalas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

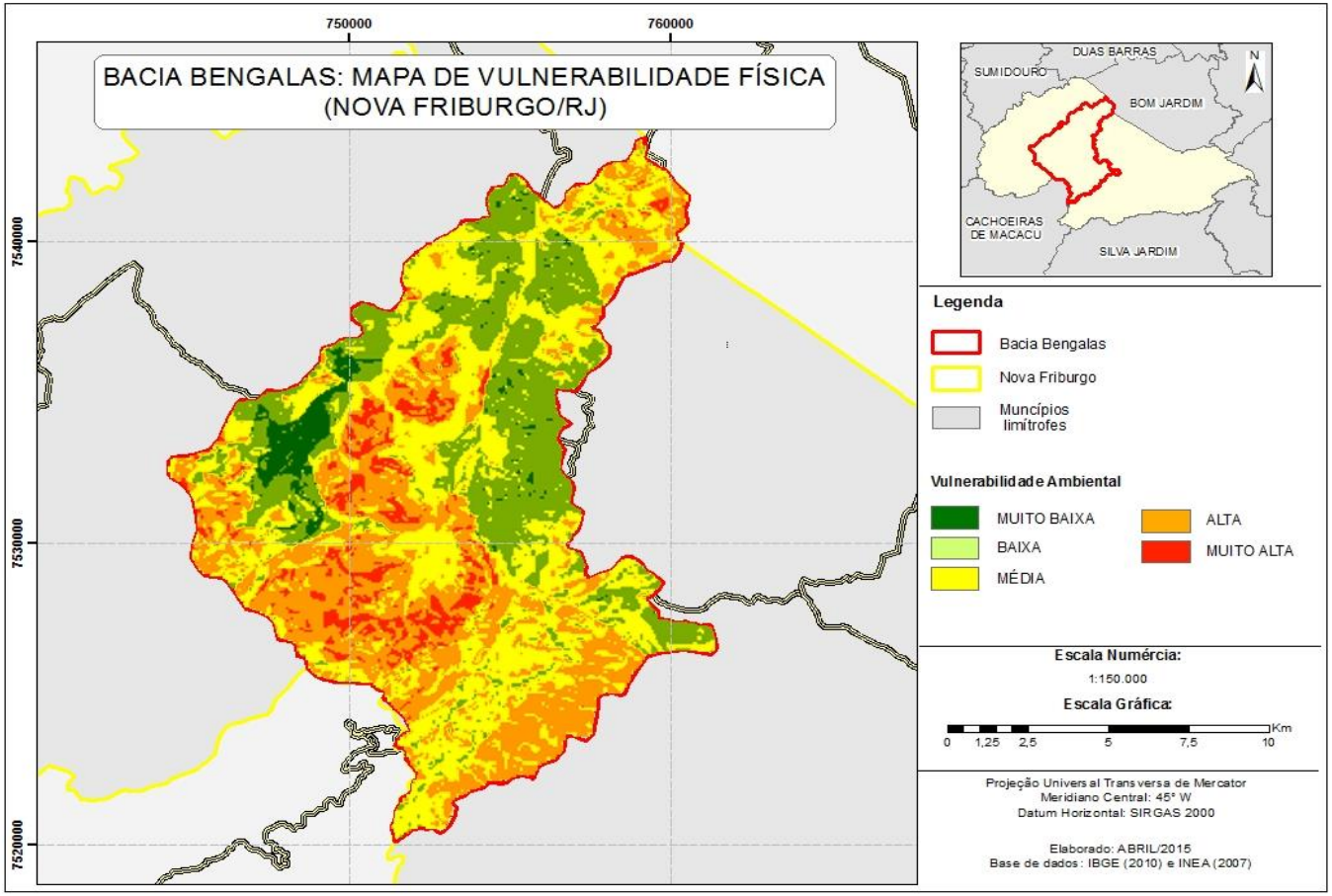

Figura 17: Mapa de Vulnerabilidade local.

4.3.
Método: vulnerabilidade demográfica

Para gerar o mapeamento do risco ambiental na bacia, foi necessário avaliar a vulnerabilidade demográfica criando indicador social de infraestrutura. Esse indicador concatena informações de abastecimento de água, esgotamento sanitário e destino do lixo.

O abastecimento de água compõe uma das variáveis, visto que, a canalização prestada pelo governo seria a forma mais adequada da prestação do serviço, mostrando uma obra de engenharia e preocupação com o meio, desvios de rios ilegais podem gerar uma modificação do ciclo hidrológico local, vazamentos clandestinos, gerando áreas mais vulneráveis. (Figura 18)

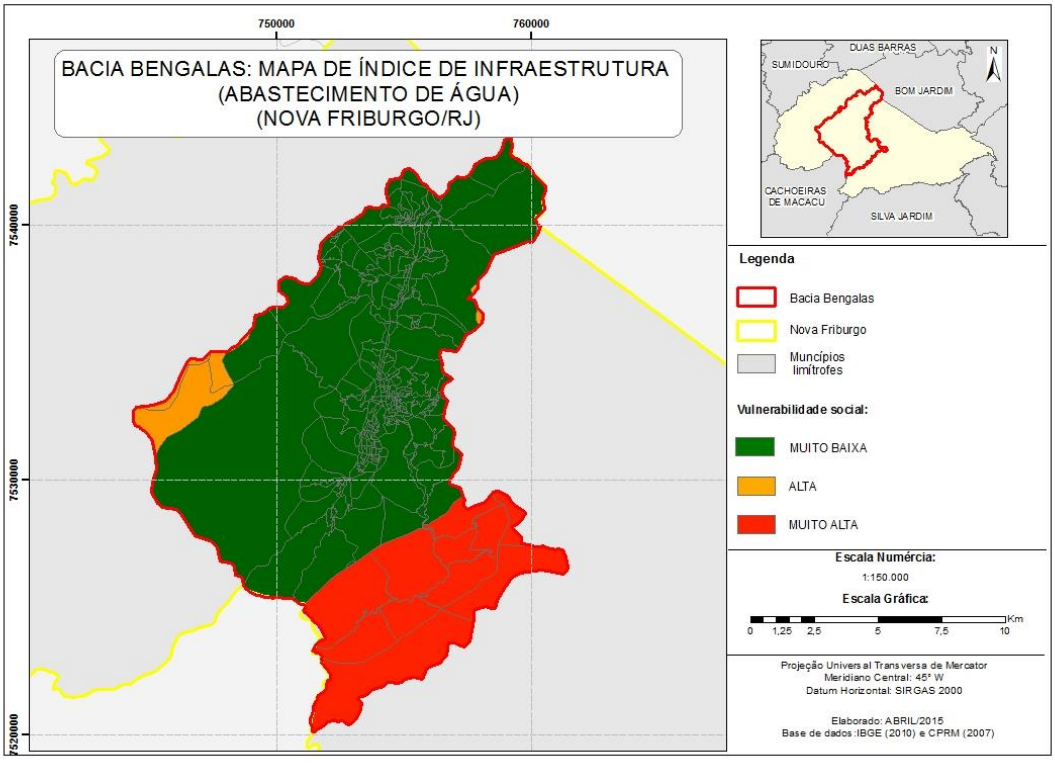

Figura 18: Mapa de Abastecimento de água.
Fonte: Censo, 2010.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

O esgotamento sanitário indica qual é o destino dos rejeitos urbanos e rurais (Figura 19). Quando há formas de descartes alternativas, do esgotamento frente ao padrão da canalização, concentração e tratamento (obras infraestruturais-drenagem), e do lixo, com a coleta seletiva, os rejeitos podem poluir rios e lençóis freáticos, contribuindo para uma saturação do solo mais rápida. (Figura 20)

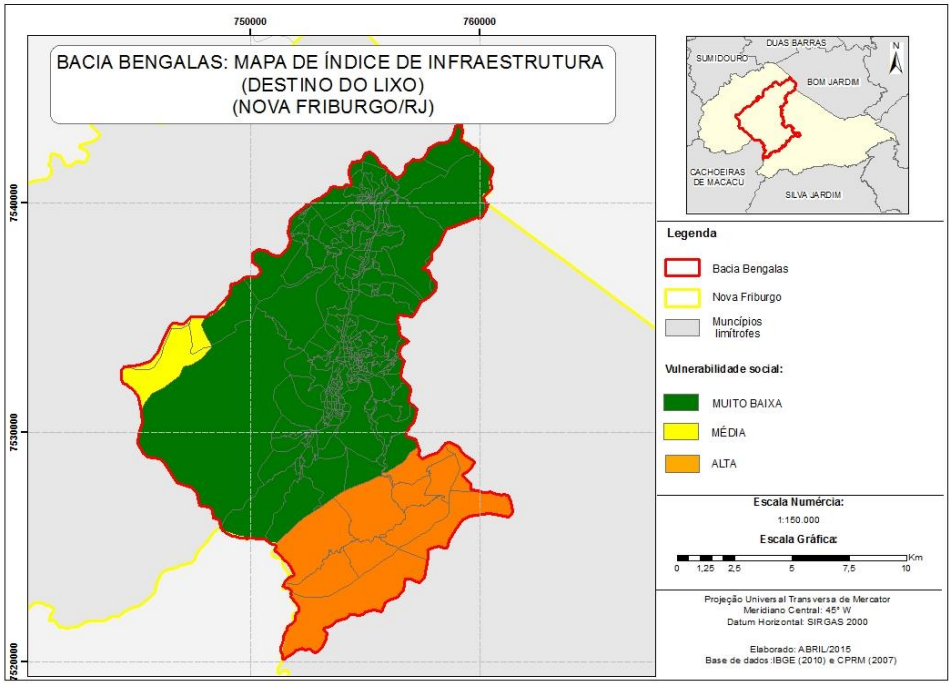

Figura 19: Mapa de Destino do Lixo.
Fonte: Censo, 2010.

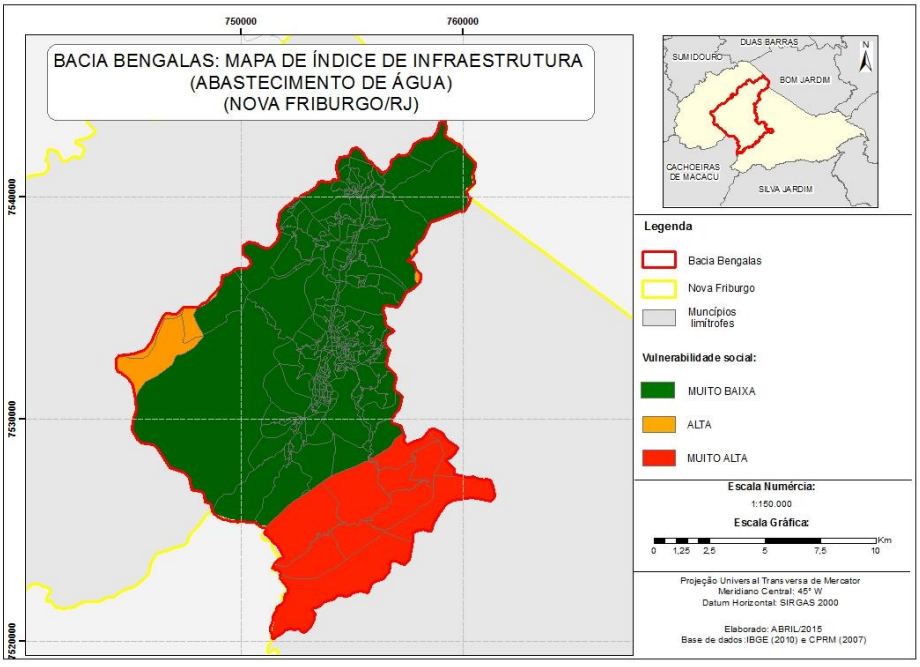

Figura 20: Mapa de abastecimento de água
Fonte: Censo, 2010.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

Para a criação do indicador, cada elemento constituinte foi considerado de acordo coma ausência do serviço público, por exemplo, em abastecimento de água, o fornecimento por rede geral foi desconsiderado. Essa opção ocorre porque a vulnerabilidade demográfica está na falta de oferta dos serviços, dividido pelo número de moradores. Abaixo encontram-se as fórmulas de cada variável (tabela Domicílios01, Censo 2010):

Abastecimento de água (AA):

Equação 2

$$\sum(V013 + V014 + V015) \; /_{V002} \; (* 100)$$

Esgotamento sanitário (ES): Equação 3

$$\sum(V019 + V020 + V021 + V022) \; /_{V002} \; (* 100)$$

Destino do lixo (DL): Equação 4

$$\sum(V037 + V038 + V039 + V040 + V041 + V042) \; /_{V002} \; (* 100)$$

A densidade demográfica e a renda da população também compõem fatores do risco ambiental, sendo associados após a associação das variáveis que constituem a vulnerabilidade ambiental. A densidade demográfica tem relação com a maior ou menor exposição da população a um desastre. A renda associa-se com a (in)justiça ambiental, já que, todas as classes sociais deveriam ter o mesmo acesso aos recursos do ambiente (bônus), de forma consciente, e estarem expostas da mesma forma aos desastres (ônus). (Figura 26)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

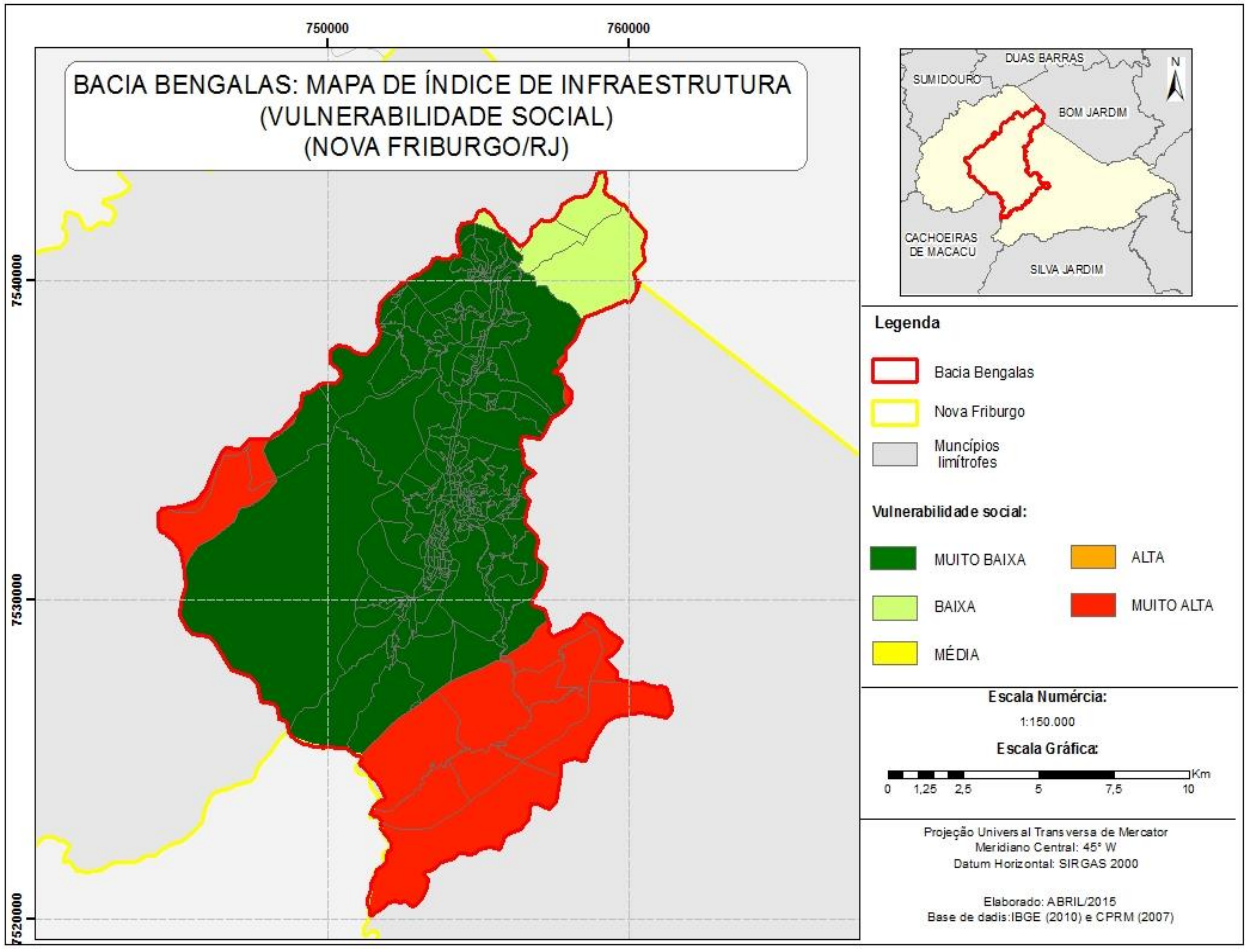

Figura 21: Mapa de Vulnerabilidade Social

4.4.
Risco ambiental

O risco ambiental (figura 22) é vulnerabilidade ambiental, a associação entre a vulnerabilidade física e demográfica, com a probabilidade de afetar a sociedade. Assim sendo, primeiramente, deve-se concatenar as informações para gerar o mapeamento da vulnerabilidade ambiental, para analisar a possibilidade na interferência humana. Abaixo segue a equação da ponderação das variáveis:

Vulnerabilidade física (VF):

Equação 5

$$\sum (Precipitaçãox2 + Geologia + Pedologia + Uso\ e\ cobert.do\ solo + Geomorfologiax2)\ /_7$$

Vulnerabilidade demográfica (VD):

Equação 6

$$\sum (AA + ES + DL)\ /_3$$

Vulnerabilidade ambiental:

Equação 7

$$\sum (VF + VD)\ /_2$$

Ocorreu o maior peso para precipitação e inundação visto que na área, estes dois condicionantes foram os mais preponderantes nos riscos ambientais. O mapeamento da vulnerabilidade ambiental (Anexo 2) indica as áreas ao sul e a noroeste como áreas mais propiciais aos movimentos de massa. Comparando aos deslizamentos de 2011(Figura 23) há uma divergência de informações, que estão associadas a variáveis analisadas nos próximos capítulos.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA

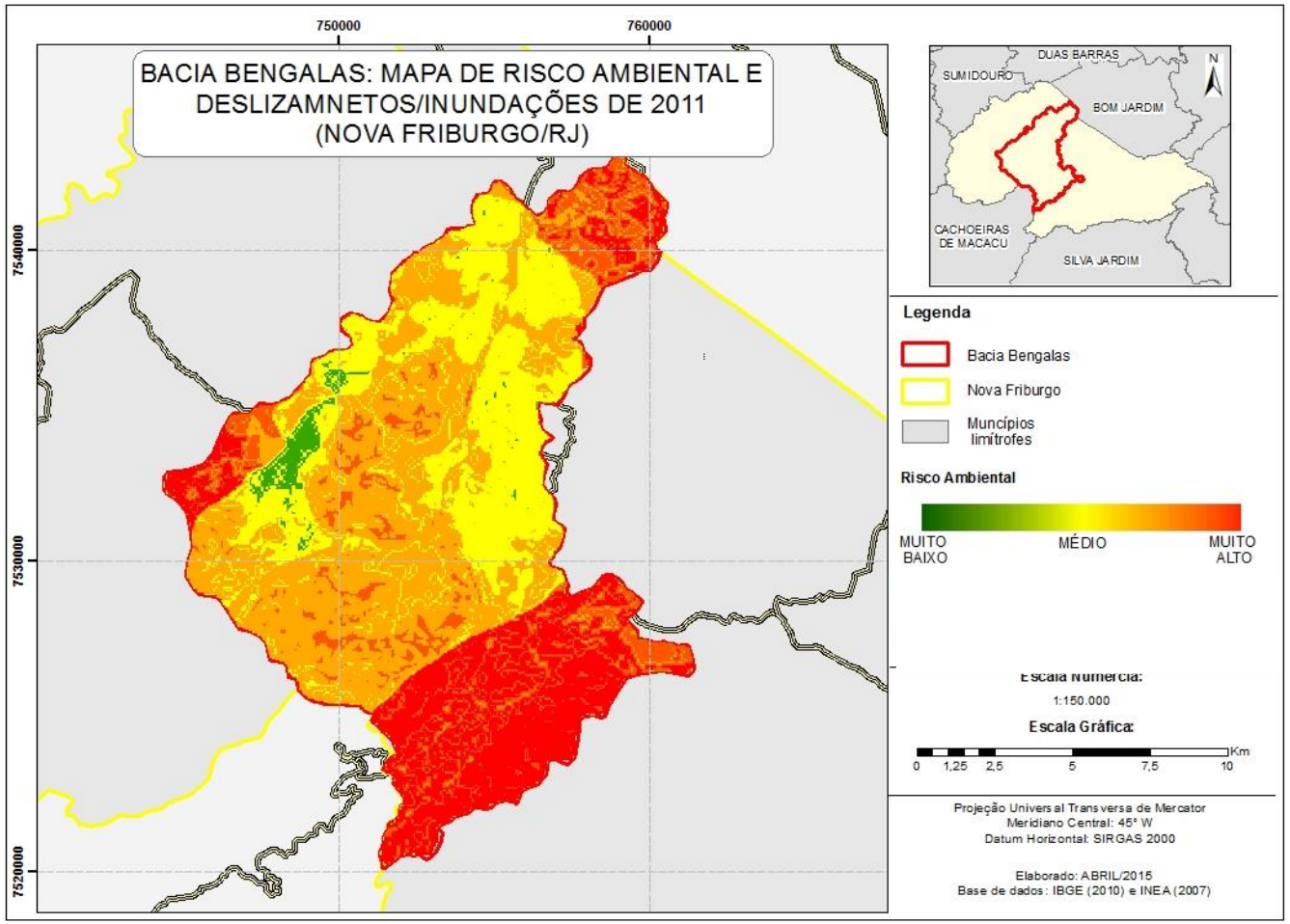

Figura 22- Mapa de Risco Ambiental

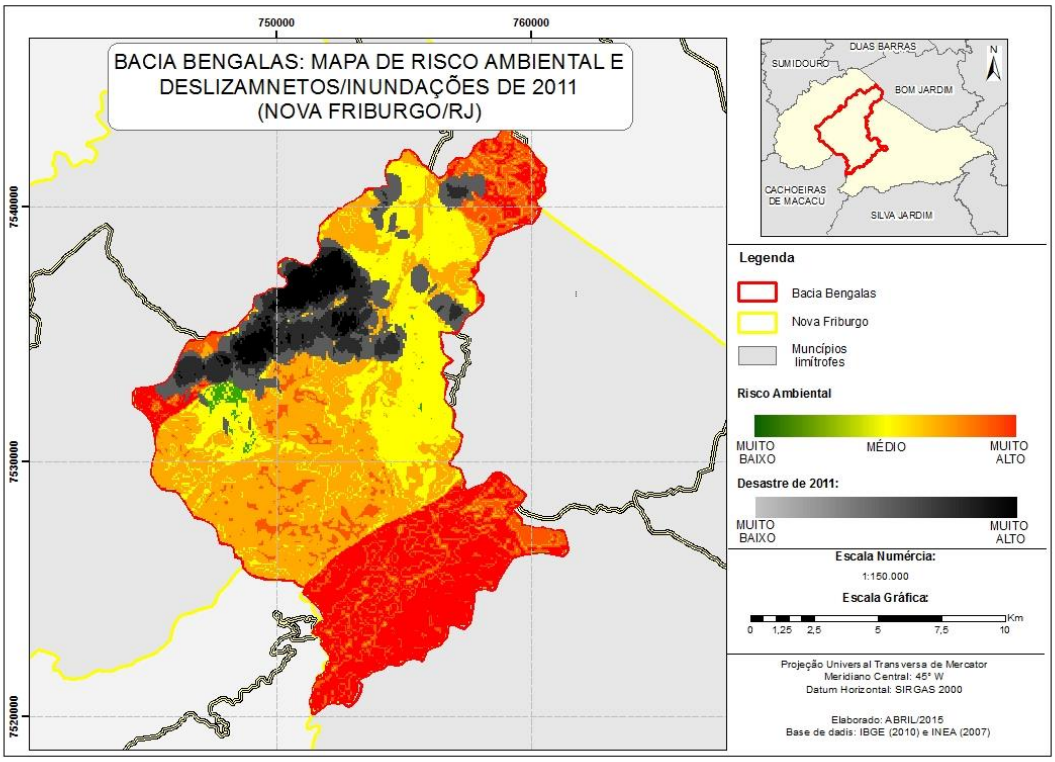

Figura 23: Mapa de Risco Ambiental e desastres de 2011.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1311585/CA