



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**Discente:** Andrés Velástegui Montoya

## **PROPOSTA DE PROJETO**

### **Título provisório do trabalho:**

Vulnerabilidade em zonas costeiras urbanas próximas a poços de petróleo: um estudo de caso

### **Justificativa:**

O crescimento econômico global acelerado tem influenciado a demanda por petróleo em diversos países, resultando em um aumento nas operações relacionadas à indústria petrolífera, incluindo exploração, extração e comercialização (CHEN, Jihong *et al.*, 2019; JAIN, 2018). Isso tem consolidado a indústria do petróleo como um dos pilares essenciais para o sustento econômico de várias nações, tais como Rússia, Nigéria, Venezuela, Arábia Saudita, Noruega e Equador (AMBITUUNI; AMEZAGA; EMSEH, 2014; BENEDICTOW; FJÆRTOFT; LØFSNÆS, 2013; BUENAÑO; PADILLA; ALCÁNTARA, 2021; TVINNEREIM; LÆGREID; FLØTTUM, 2020). Portanto, essa indústria é reconhecida como um dos setores estratégicos mais significativos globalmente, impulsionando o desenvolvimento econômico, social e político moderno em diversas regiões (GRAHAM; OVADIA, 2019; KILIAN; MURPHY, 2014).

O desenvolvimento da indústria petrolífera em determinada região implica na criação de campos e poços de petróleo, no transporte de materiais, na perfuração e em outras atividades industriais. Esses processos acontecem em ambientes que variam de áreas rurais a urbanas em diferentes localidades (MAYER; OLSON-HAZBOUN; MALIN, 2018; TRAN *et al.*, 2020). A exploração de petróleo e gás em áreas urbanas e suburbanas tem dado origem aos petrosúrbios, que são áreas residenciais que incluem estruturas de perfuração e produção (HAGGERTY *et al.*, 2018). Porém, em alguns casos, os poços de petróleo estão localizados distantes das áreas urbanas. Apesar disso, a mobilidade da mão-de-obra, a demanda por moradia e serviços essenciais, e a realização de obras relacionadas aos projetos petrolíferos contribuem para a expansão das áreas urbanas nas regiões de produção de petróleo (LLERENA-MONTOYA *et al.*, 2021). Além disso, a indústria petrolífera pode modificar o uso da terra e impactar outras atividades próximas aos campos de petróleo, como a agricultura, que é fundamental para suprir a demanda por alimentos (MATEMILOLA; ADEDEJI; ENOGUANBHOR, 2018).

O papel da atividade petrolífera no uso da terra é crucial para o desenvolvimento das cidades que dependem dos recursos de hidrocarbonetos, pois gera tanto impactos positivos, como o crescimento econômico, quanto impactos negativos na população e no meio ambiente (CHEN, Wei *et al.*, 2019). Por exemplo, a proximidade de poços de

petróleo às áreas residenciais pode resultar em riscos à saúde e ao ambiente (FITZGERALD *et al.*, 2020; OTCHERE-DARKO; OVADIA, 2020). Portanto, os estudos sobre vulnerabilidade desempenham um papel importante na identificação e avaliação dos diversos níveis de riscos naturais e industriais que impactam tanto as pessoas quanto o meio ambiente (TURCONI *et al.*, 2019).

A província petrolífera de Santa Elena, no Equador, abrange três municípios: Salinas, La Libertad e Santa Elena. A primeira perfuração para exploração de petróleo no Equador ocorreu em 1911 (LINDSEY; LOPEZ R., 2015). Atualmente, especialmente na porção sul da província, parte do campo petrolífero conhecido como "Gustavo Galindo", é comum encontrar poços de extração de petróleo próximos a áreas urbanas, equipados com balancins móveis. A transformação espacial e temporal do uso do solo, impulsionada pelas demandas habitacionais na região em estudo, está estreitamente ligada à indústria petrolífera, uma vez que as áreas onde os poços foram instalados eram anteriormente zonas rurais e hoje se encontram urbanizadas, o que pode representar riscos para a saúde e o ambiente (HERRERA-FRANCO *et al.*, 2021; KOK *et al.*, 2001). Ademais, as alterações no uso da terra estão relacionadas à redução das áreas agrícolas devido à expansão urbana nessas áreas costeiras (LI *et al.*, 2022).

#### **Pergunta:**

- Qual é o nível de vulnerabilidade das áreas urbanas da província de Santa Elena devido à presença de poços de petróleo?

#### **Objetivo geral e específico:**

Analisar o grau de vulnerabilidade das áreas urbanas dos municípios costeiros de Salinas e La Libertad, na região de Santa Elena, em relação à presença de poços de petróleo.

- Identificar os principais fatores de vulnerabilidade das áreas urbanas dos municípios costeiros de Salinas e La Libertad, relacionados à proximidade de poços de petróleo, incluindo aspectos socioeconômicos, ambientais e de saúde pública.
- Avaliar os impactos específicos da presença de poços de petróleo nas áreas urbanas de Salinas e La Libertad, abordando questões como qualidade do ar, risco de contaminação do solo e da água, como também, riscos de acidentes industriais e impactos na infraestrutura urbana.

#### **Área de estudo:**

A área de estudo está situada na costa equatoriana, a oeste da Província de Santa Elena. Em 2020, Salinas e La Libertad tinham uma população de 94.590 e 117.767 habitantes, respectivamente (PROYECCIONES POBLACIONALES |, [s. d.]). A morfologia da região é marcada por acidentes geográficos, como penínsulas e promontórios ao longo da costa (DUMONT *et al.*, 2014). Salinas representa o ponto mais proeminente e ocidental da costa equatoriana e sul-americana, destacando-se como uma característica geográfica distintiva na área em estudo. Salinas e La Libertad são conhecidas como destinos

turísticos que contribuem para o desenvolvimento econômico da província, onde existem mais de 450 poços foram instalados em áreas urbanas e arredores, próximos às residências (HERRERA-FRANCO *et al.*, 2022). O clima local é predominantemente seco, as chuvas são irregulares e escassas (GARCÍA-GARIZÁBAL, 2017), resultando na presença de três tipos principais de vegetação: vegetação costeira desértica e semidesértica (com florestas xerófitas, espinhosas e matagais áridos), floresta caducifólia e floresta semidecídua (PEARSALL *et al.*, 2016). A vegetação predominante é a costeira desértica e semidesértica, característica da margem ocidental da Península de Santa Elena.

#### **Dados:**

- Vector de malhas provinciais do Equador (Fonte: Instituto Militar Geográfico).
- Vector de malhas municipais do Equador (Fonte: Instituto Militar Geográfico).
- Vector da hidrogeologia da área de estudo (Fonte: Instituto Militar Geográfico).
- Raster uso e cobertura da área de estudo do ano 2023 (Fonte: MapBioma Equador).
- Inventário de poços de petróleo categorizados de acordo com seu estado de atividade (em produção, temporariamente desativados, desativados inadequadamente e permanentemente desativados) (Fonte: Projeto de pesquisa da ESPOL).
- Percepção dos moradores das áreas circundantes aos poços de petróleo quanto à presença de gases (Fonte: Projeto de pesquisa da ESPOL).

#### **Procedimentos:**

Este estudo irá reproduzir uma abordagem proposta para avaliar a vulnerabilidade de áreas costeiras habitadas e afetadas pela atividade de exploração de petróleo (HERRERA-FRANCO *et al.*, 2022). Essa abordagem considera diferentes variáveis, como distância, detecção de emissões de gases dos poços de petróleo, permeabilidade do solo e condição dos poços (DIPS, na sigla em inglês).

Variáveis DIPS

##### Distância entre poços de petróleo e áreas povoadas

A distância entre os poços de petróleo e as áreas habitadas será considerada com maior peso (nota 5), devido ao potencial de vazamentos de hidrocarbonetos e à emissão ou concentração de gases que podem impactar as populações próximas. As áreas povoadas serão identificadas com base nos dados de uso e cobertura da terra do ano 2023 do projeto MapBioma Equador.

A proximidade dos poços de petróleo às áreas urbanas será determinada utilizando diferentes anéis de proximidade. Serão aplicados cinco anéis ao redor dos poços, conforme estabelecido pelas leis ambientais locais. As distâncias de segurança e as áreas de buffer serão determinadas pelas variáveis  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$  e  $x_5$ , utilizando as seguintes equações:

Equação (1):  $x_1$  corresponde ao buffer de distância mínima ( $r_{min}$ ), com classificação de 5.

$$x_1 = r_{\min}, \text{ (Eq. 1)}$$

Equação (2):  $x_5$  define a maior buffer de amortecimento,  $r_{\max}$ , considerada segura para uso do solo, recebendo a classificação de 1.

$$x_5 = r_{\max} \text{ até } 2 * r_{\max}, \text{ (Eq. 2)}$$

Equação (3):  $d$  é a diferença entre as distâncias máxima e mínima, dividida pelas faixas utilizadas no DIPS.

$$d = (x_1 - x_5)/5, \text{ (Eq. 3)}$$

Equação (4):  $x_2$  corresponde ao segundo anel de proximidade, com classificação 4.

$$x_2 = x_1 \text{ até } (x_1 + d), \text{ (Eq. 4)}$$

Equação (5):  $x_3$  corresponde à faixa intermediária de anel de proximidade, com classificação 3.

$$x_3 = (x_1 + d) \text{ até } [(x_1 + d) + 2 * d], \text{ (Eq. 5)}$$

Equação (6):  $x_4$  é o penúltimo anel de proximidade, com classificação 2.

$$x_4 = [(x_1 + d) + 2 * d] \text{ to } [(x_1 + d) + 4 * d], \text{ (Eq. 6)}$$

#### Distância entre poços de petróleo e corpos d'água

A variável de distância considera a distância dos poços de petróleo a diferentes corpos d'água superficiais que poderiam estar contaminados por hidrocarbonetos, recebem o peso 4. O primeiro anel correspondera aos primeiros 10 m, com uma classificação de 3; o segundo anel correspondera a uma distância entre 10 m e 30 m, com uma classificação de 2; o terceiro anel corresponde a distância entre 30 m e 100 m, com classificação de 1; enquanto que o anel final correspondera as distâncias superiores a 100 m, com classificação 0.

#### Identificação de Emissões de Gás de Poços de Petróleo

Para determinar a presença de gases, foi aproveitado os resultados de um formulário aplicado aos grupos focais da área de estudo, que relatou a percepção de odores de gases em poços de petróleo, atribuindo nota 2 onde foram percebidos; caso contrário, a classificação foi 0. Esta variável recebeu possui o peso 3 (HERRERA-FRANCO *et al.*, 2022).

#### Permeabilidade do solo ao redor dos poços de petróleo

Esta variável possui um peso de 2, devido que os hidrocarbonetos podem infiltrar-se no solo durante os processos de exploração e abandono permanente, afetando os aquíferos (HERRERA-FRANCO *et al.*, 2022). Nesta variável, a classe “permeabilidade” foi selecionada a partir dos dados de hidrogeologia disponíveis. Os solos serão classificados como de alta permeabilidade com classificação 3, permeabilidade média com classificação 2 e baixa permeabilidade com classificação 1.

## Estado dos Poços de Petróleo

O estado de um poço de petróleo define sua condição produtiva, sendo classificado em poços produtivos, temporariamente abandonados, indevidamente abandonados e permanentemente abandonados. A esta variável foi atribuído o peso de 1. Poços produtivos podem gerar algum risco, por isso receberam classificação 3. Poços temporariamente abandonados que podem ser produtivos receberam classificação 2. Poços abandonados indevidamente (sem infraestrutura de segurança ao redor) foram atribuídos uma classificação de 1. Por fim, os poços abandonados permanentemente, cumprem os requisitos ambientais para garantir a segurança no seu entorno, pelo que lhes terão uma classificação de 0.

Tabela 1. Matriz DIPS para vulnerabilidade gerada pelos poços de petróleo (HERRERA-FRANCO *et al.*, 2022).

Variáveis	Ranking	Classificação	Peso
Distância entre poços de petróleo e áreas povoadas (Dp)	$< x_1$	5	5
	$x_2$	4	
	$x_3$	3	
	$x_4$	2	
	$x_5$	1	
Distância entre poços de petróleo e corpos d'água (Dca)	$<10$	3	4
	10 até 30	2	
	30 até 100	1	
	$>100$	0	
Identificação de Emissões de Gás de Poços de Petróleo (I)	Algumas vezes	2	3
	Não	0	
Permeabilidade do solo ao redor dos poços de petróleo (Pe)	Alto	3	2
	Médio	2	
	Baixo	1	
Estado dos Poços de Petróleo (S)	Poços produtivos	3	1
	Poços temporariamente abandonados	2	
	Poços indevidamente abandonados	1	
	Poços permanentemente abandonados	0	

As pontuações e pesos das variáveis serão multiplicados para obter a pontuação total da variável DIPS. A equação (7) expressa a pontuação resultante do produto entre o peso e a classificação, em que S representa a pontuação, C representa a classificação e P representa o peso.

$$S = C * P, \text{ (Eq. 7)}$$

O escore total ( $S_t$ ) será calculado pela soma das pontuações de cada variável, conforme indicado na Equação (8). O valor máximo que pode ter o  $S_t$  é de 52 (resultado da multiplicação do maior valor de classificação da variável pelo seu peso), enquanto o valor mínimo pode ser de 7 (resultante da multiplicação do valor do peso de cada variável pelo valor mínimo da sua classificação).

$$S_t = D_{pC} * D_P + D_{caC} * D_{caP} + I_C * I_P + P_C * P_P + S_C * S_P, \text{ (Eq. 8)}$$

A avaliação da vulnerabilidade será classificada em alta, média e baixa vulnerabilidade, conforme demonstrado na Tabela 2

Tabela 2. Classificação da vulnerabilidade segundo pontuação.

Vulnerabilidade	Pontuação	Cor
Alto (A)	37 - < 52	Vermelho
Médio (M)	22 - < 36	Amarelo
Baixo (B)	7 - < 21	Verde

Por fim, todos os dados serão integrados no SIG, para gerar o mapa de vulnerabilidade. Como parte deste processo de integração, é necessário converter todos os dados para raster, para atribuir as respectivas classificações e pesos das variáveis. Além disso, será realizada uma análise de densidade Kernel, para criar um raster de dados contínuos com base no status dos poços de petróleo. Posteriormente, os dados raster preliminares serão relacionados utilizando a ferramenta Raster Calculator, obtendo-se assim o mapa de vulnerabilidade da região.

## Referências

AMBITUUNI, Ambisisi; AMEZAGA, Jaime; EMESEH, Engobo. Analysis of safety and environmental regulations for downstream petroleum industry operations in Nigeria: Problems and prospects. **Environmental Development**, vol. 9, nº 1, p. 43–60, 2014. <https://doi.org/10.1016/J.ENVDEV.2013.12.002>. Acessado em: 6 abr. 2024.

BENEDICTOW, Andreas; FJÆRTOFT, Daniel; LØFSNÆS, Ole. Oil dependency of the Russian economy: An econometric analysis. **Economic Modelling**, vol. 32, nº 1, p. 400–428, maio 2013. <https://doi.org/10.1016/J.ECONMOD.2013.02.016>. Acessado em: 6 abr. 2024.

BUENAÑO, Edwin; PADILLA, Emilio; ALCÁNTARA, Vicent. Relevant sectors in CO2 emissions in Ecuador and implications for mitigation policies. **Energy Policy**, vol. 158, 1 nov. 2021. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2021.112551>. Acessado em: 6 abr. 2024.

CHEN, Jihong; ZHANG, Weipan; WAN, Zheng; LI, Sifan; HUANG, Tiancun; FEI, Yijie. Oil spills from global tankers: Status review and future governance. **Journal of Cleaner Production**, vol. 227, p. 20–32, 1 ago. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.04.020>. Acessado em: 6 abr. 2024.

CHEN, Wei; CHEN, Wenjun; NING, Siyin; LIU, Er na; ZHOU, Xue; WANG, Yanan; ZHAO, Minjuan. Exploring the industrial land use efficiency of China's resource-based cities. **Cities**, vol. 93, p. 215–223, 1 out. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.CITIES.2019.05.009>. Acessado em: 6 abr. 2024.

DUMONT, Jean François; SANTANA, Essy; BONNARDOT, Marie Aude; PAZMIÑO, Nelson; PEDOJA, Kevin; SCALABRINO, Bruno. Geometry of the coastline and morphology of the convergent continental margin of Ecuador. **Geological Society Memoir**, vol. 41, n° 1, p. 327–338, 2014. <https://doi.org/10.1144/M41.24>. Acessado em: 6 abr. 2024.

FITZGERALD, Timothy; KUWAYAMA, Yusuke; OLMSTEAD, Sheila; THOMPSON, Alexandra. Dynamic impacts of U.S. energy development on agricultural land use. **Energy Policy**, vol. 137, 1 fev. 2020. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2019.111163>. Acessado em: 6 abr. 2024.

GARCÍA-GARIZÁBAL, Iker. Rainfall variability and trend analysis in coastal arid Ecuador. **International Journal of Climatology**, vol. 37, n° 13, p. 4620–4630, 15 nov. 2017. <https://doi.org/10.1002/JOC.5110>. Acessado em: 6 abr. 2024.

GRAHAM, Emmanuel; OVADIA, Jesse Salah. Oil exploration and production in Sub-Saharan Africa, 1990-present: Trends and developments. **Extractive Industries and Society**, vol. 6, n° 2, p. 593–609, 1 abr. 2019. <https://doi.org/10.1016/J.EXIS.2019.02.001>. Acessado em: 6 abr. 2024.

HAGGERTY, Julia H.; KROEPSCH, Adrienne C.; WALSH, Kathryn Bills; SMITH, Kristin K.; BOWEN, David W. Geographies of Impact and the Impacts of Geography: Unconventional Oil and Gas in the American West. **Extractive Industries and Society**, vol. 5, n° 4, p. 619–633, 1 nov. 2018. <https://doi.org/10.1016/J.EXIS.2018.07.002>. Acessado em: 6 abr. 2024.

HERRERA-FRANCO, Gricelda; ESCANDÓN-PANCHANA, Paulo; ERAZO, Karla; MORA-FRANK, Carlos; BERREZUETA, Edgar. Geoenvironmental analysis of oil extraction activities in Urban and rural zones of Santa Elena Province, Ecuador. **International Journal of Energy Production and Management**, vol. 6, n° 3, p. 211–228, 30 set. 2021. <https://doi.org/10.2495/EQ-V6-N3-211-228>. Acessado em: 6 abr. 2024.

HERRERA-FRANCO, Gricelda; MONTALVÁN, F. Javier; VELASTEGUI-MONTOYA, Andrés; CAICEDO-POTOSÍ, Jhon. Vulnerability in a Populated Coastal Zone and Its Influence by Oil Wells in Santa Elena, Ecuador. **Resources**, vol. 11, n° 8, 1 ago. 2022. <https://doi.org/10.3390/RESOURCES11080070>. Acessado em: 6 abr. 2024.

JAIN, Anil K. A fine balance: Lessons from India's experience with petroleum subsidy reforms. **Energy Policy**, vol. 119, p. 242–249, 1 ago. 2018. <https://doi.org/10.1016/J.ENPOL.2018.04.050>. Acessado em: 6 abr. 2024.

KILIAN, Lutz; MURPHY, Daniel P. The role of inventories and speculative trading in the global market for crude oil. **Journal of Applied Econometrics**, vol. 29, n° 3, p. 454–478, 2014. <https://doi.org/10.1002/JAE.2322>. Acessado em: 6 abr. 2024.

KOK, Kasper; FARROW, Andrew; VELDKAMP, A.; VERBURG, Peter H. A method and application of multi-scale validation in spatial land use models. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, vol. 85, n° 1–3, p. 223–238, jun. 2001. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00186-4](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00186-4). Acessado em: 6 abr. 2024.

LI, Qian; VILELA, Paulina; TARIQ, Shahzeb; NAM, Ki Jeon; YOO, Chang Kyoo. Multiple land-use fugacity model to assess the transport and fate of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban and suburban areas. **Urban Climate**, vol. 45, 1 set. 2022. <https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2022.101263>. Acessado em: 6 abr. 2024.

LINDSEY, Emily L.; LOPEZ R., Eric X. Tanque Loma, a new late-Pleistocene megafaunal tar seep locality from southwest Ecuador. **Journal of South American Earth Sciences**, vol. 57, p. 61–82, 1 jan. 2015. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMES.2014.11.003>. Acessado em: 6 abr. 2024.

LLERENA-MONTOYA, Sergio; VELASTEGUI-MONTOYA, Andrés; ZHIRZHAN-AZANZA, Bryan; HERRERA-MATAMOROS, Viviana; ADAMI, Marcos; DE LIMA, Aline; MOSCOSO-SILVA, Francisco; ENCALADA, Luis. Multitemporal analysis of land use and land cover within an oil block in the ecuadorian amazon. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, vol. 10, n° 3, 1 mar. 2021. <https://doi.org/10.3390/IJGI10030191>. Acessado em: 6 abr. 2024.

MATEMILOLA, Saheed; ADEDEJI, Oludare Hakeem; ENOGUANBHOR, Evidence Chinedu. Land Use/Land Cover Change in Petroleum-Producing Regions of Nigeria. **The Political Ecology of Oil and Gas Activities in the Nigerian Aquatic Ecosystem**, , p. 257–276, 2018. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809399-3.00017-3>. Acessado em: 6 abr. 2024.

MAYER, Adam; OLSON-HAZBOUN, Shawn K.; MALIN, Stephanie. Fracking Fortunes: Economic Well-being and Oil and Gas Development along the Urban-Rural Continuum. **Rural Sociology**, vol. 83, n° 3, p. 532–567, 1 set. 2018. <https://doi.org/10.1111/RUSO.12198>. Acessado em: 6 abr. 2024.

OTCHERE-DARKO, William; OVADIA, Jesse Salah. Incommensurable languages of value and petro-geographies: Land-use, decision-making and conflict in South-Western Ghana. **Geoforum**, vol. 113, p. 69–80, 1 jul. 2020. <https://doi.org/10.1016/J.GEOFORUM.2020.05.009>. Acessado em: 6 abr. 2024.

PEARSALL, Deborah M.; DUNCAN, Neil A.; JONES, John G.; FRIEDEL, Dorothy E.; VEINTIMILLA, Cesar I.; NEFF, Hector. Human–environment interactions during the



early mid-Holocene in coastal Ecuador as revealed by mangrove coring in Santa Elena Province. **Holocene**, vol. 26, n° 8, p. 1262–1289, 1 ago. 2016. <https://doi.org/10.1177/0959683616638421>. Acessado em: 6 abr. 2024.

PROYECCIONES POBLACIONALES |. [s. d.]. Disponível em: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>. Acessado em: 6 abr. 2024.

TRAN, Kathy V.; CASEY, Joan A.; CUSHING, Lara J.; MORELLO-FROSCH, Rachel. Residential proximity to oil and gas development and birth outcomes in California: A retrospective cohort study of 2006–2015 births. **Environmental Health Perspectives**, vol. 128, n° 6, p. 067001, 1 jun. 2020. <https://doi.org/10.1289/EHP5842>. Acessado em: 6 abr. 2024.

TURCONI, Laura; LUINO, Fabio; GUSSONI, Mattia; FACCINI, Francesco; GIARDINO, Marco; CASAZZA, Marco. Intrinsic environmental vulnerability as shallow landslide susceptibility in environmental impact assessment. **Sustainability (Switzerland)**, vol. 11, n° 22, 2019. <https://doi.org/10.3390/SU11226285>. Acessado em: 6 abr. 2024.

TVINNEREIM, Endre; LÆGREID, Ole Martin; FLØTTUM, Kjersti. Who cares about Norway's energy transition? A survey experiment about citizen associations and petroleum. **Energy Research and Social Science**, vol. 62, p. 101357, 1 abr. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101357>. Acessado em: 6 abr. 2024.