

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

MBA EM GESTÃO DE ÁREAS CONTAMINADAS, DESENVOLVIMENTO URBANO
SUSTENTÁVEL E REVITALIZAÇÃO DE BROWNFIELDS

RAFAEL PONCE VARGAS

**Avaliação de risco ecológico no campo de Pavayacu, Bloco 8 na floresta do
Peru**

SÃO PAULO

2020

RAFAEL PONCE VARGAS

**Avaliação de risco ecológico no campo de Pavayacu, Bloco 8 na floresta do
Peru**

Versão Corrigida

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields..

Orientadora: Profa. Dra. Karin Guiguer.

SÃO PAULO

2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação-na-publicação

Ponce Vargas, Rafael Antonio René

Avaliação de risco ecológico no campo de Pavayacu, Bloco 8 na floresta do Peru / R. A. R. Ponce Vargas -- São Paulo, 2020.

68 p.

Monografia (MBA em MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Risco ambiental 2.Hidrocarbonetos 3.Metais 4.Floresta amazônica peruana 5.Contaminação do solo I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

À minha esposa, Tomy, com amor e
gratidão por sua compreensão e paciência.
Ao meu filho, Rafael, por ser o motivo de
tudo o que faço. À minha mãe, Jessie, que
sempre me inspira ir além com seu
exemplo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por ter me concedido saúde, força e dedicação para cumprir todos os objetivos do curso

Agradeço ao minha orientadora, Dra. Karin Guiguer, por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa. Agradeço sua paciência e disposição para ensinar e orientar. Sem ela, esse trabalho não teria sido possível.

Agradeço aos professores do MBA em Gestão de Áreas Contaminadas da Universidade de São Paulo, pela excelência da qualidade técnica de cada um, e pela forma de transmitir seus conhecimentos e experiências.

Agradeço aos meus colegas do Peru, que me apoiaram com seu tempo e conhecimento, durante o desenvolvimento desta monografia.

Finalmente, agradeço aos meus colegas desta primeira turma de especialistas em gestão de áreas contaminadas, por terem aberto as portas deste belo país, que é o Brasil, para mim e por ter iniciado uma amizade que perdurará no tempo.

RESUMO

Ponce, Rafael. Avaliação de risco ecológico no campo de Pavayacu, Bloco 8 na floresta do Peru. 2020. 68 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Foi desenvolvida uma avaliação de risco ecológico para o campo de petróleo Pavayacu, no Bloco 8, na floresta amazônica peruana, onde existem áreas contaminadas com mais de 40 anos devido a antigos descartes de água produzida. Os parâmetros Fração 2 (F2) e Fração 3 (F3) de hidrocarbonetos, cromo VI, arsênico, bário, cádmio, mercúrio e chumbo foram determinados como Substâncias Químicas de Interesse (SQI) para o solo. As espécies de interesse determinadas foram o Cachorro do mato de orelhas curtas, o tatuáçu, a anta, o veado-mateiro, a onça-pintada, o agouti e a arara-vermelha. A ingestão através da cadeia alimentar incluindo ingestão de solo, e a ingestão de água foram consideradas como rotas de exposição. Para quantificar a exposição das SQI às espécies selecionadas, foi necessário estimar as concentrações nos meios (solo e água) e as concentrações nos componentes da cadeia trófica (plantas, invertebrados, e animais vertebrados consumidos por outros animais). Foram utilizados valores de Fatores de Bioconcentração (FBC) da bibliografia considerando a similaridade com as espécies testadas incluídas nos documentos revisados. Para a determinação dos efeitos adversos das SQI para a fauna e a flora, foram utilizados os valores de referência de toxicidade (VRT) disponíveis. A caracterização do risco foi realizada com a estimação do quociente de risco (QR). O QR foi calculado dividindo-se as doses de exposição calculadas para cada espécie e cada SQI, pelo VRT. Os resultados obtidos foram que os metais não apresentaram risco para as espécies animais avaliadas. No entanto, haveria risco para as plantas em relação aos parâmetros arsênio, cromo VI e mercúrio. Os hidrocarbonetos F2 e F3 apresentariam risco ecológico às plantas e aos invertebrados do solo. F3 apresentaria risco para a arara-vermelha e para a anta.

Palavras-chave: Avaliação de risco ecológico. Floresta amazônica peruana. Metais. Hidrocarbonetos. Contaminação do solo.

ABSTRACT

Ponce, Rafael. Ecological risk assessment in Pavayacu oilfield, Block 8, at the Peruvian amazon forest. 2020. 68 p. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

An ecological risk assessment was developed for the Pavayacu oil field, in Block 8, at the Peruvian Amazon forest, where there are contaminated areas over 40 years old due to historical discharges of produced water. The parameters Fraction 2 (F2) and Fraction 3 (F3) of hydrocarbons, chromium VI, arsenic, barium, cadmium, mercury and lead were determined as Chemicals of Interest (COI) for the soil. As species of interest were determined the Short-eared dog, giant armadillo, south American tapir, red deer, jaguar, black agouti and macaw. Intake through the food chain including soil intake, and water intake was considered as relevant route of exposure. To quantify the exposure of the COI to the selected species, it was necessary to estimate the concentrations in the media (soil and water) and the concentrations in the components of the food chain (plants, invertebrates, and vertebrate animals consumed by other animals). Bioconcentration factors (BCF) values from the bibliography were used considering the similarity with the tested species included in the reviewed documents. To determine the adverse effects of COI for the fauna and flora, Toxicological Reference Values (TRV) were used. The risk characterization was performed by estimating the risk quotient (RQ). The RQ was calculated dividing the exposure doses calculated for each species and each COI, by the TRV. As result was obtained that the metals did not present risk for the evaluated animal species. However, there would be a risk to the plants concerning the parameters arsenic, chromium VI and mercury. Hydrocarbons F2 and F3 would present ecological risk to plants and soil invertebrates. F3 would present risk to the macaw and the tapir.

Keywords: Ecological risk assessment. Peruvian amazon forest. Heavy metals. Hydrocarbons. Soil pollution.

SUMÁRIO

1	Introdução	10
2	Objetivos	11
3	Revisão da Literatura.....	12
3.1	Atividade petrolífera na selva norte peruana.....	12
3.2	Áreas contaminadas no Bloco 8, na floresta amazônica peruana	13
3.2.1	Programa de Adequação e Gerenciamento Ambiental (PAMA).....	13
3.2.2	Estudo Ambiental do Bloco 8	15
3.2.3	Plano Ambiental Complementar (PAC).....	16
3.2.4	Planos de descontaminação do solo (PDS).....	17
3.2.5	Locais Contaminados determinados pelo OEFA	18
3.3	Avaliação de Risco Ecológico (ARE)	20
4	Descrição e Caracterização da Área de Estudo	22
4.1	Geologia Regional	23
4.2	Hidrologia e Hidrogeologia	24
4.2.1	Hidrologia	24
4.2.2	Hidrogeologia	25
4.3	Clima e Condições Meteorológicas	26
4.3.1	Precipitação	26
4.3.2	Temperatura.....	26
4.3.3	Umidade relativa	27
4.3.4	Nebulosidade	27
4.3.5	Vento.....	27
4.4	Ecologia Regional	27
4.4.1	Vegetação	28
4.4.2	Entomologia	29
4.4.3	Mamíferos menores	29
4.4.4	Mamíferos maiores	30
4.4.5	Avifauna	30
4.4.6	Herpetologia	31
4.4.7	Hidrobiologia	31
5	Metodologia	33
5.1	Formulação do problema	33

5.1.1	Identificação das Substâncias Químicas de Interesse (SQI)	33
5.1.2	Transporte e Destino das SQIs.....	37
5.1.3	Identificação dos Receptores Ecológicos Relevantes	37
5.1.4	Identificação das Rotas de Exposição	40
5.1.5	Elaboração do Modelo Conceitual de Exposição.....	41
5.2	Caracterização da exposição	44
5.3	Análise de toxicidade	55
5.4	Caracterização do risco.....	60
5.4.1	Quociente de Risco (QR)	60
5.4.2	Análise de Incertezas.....	62
5.5	Resultados	63
6	Conclusão	65
7	Bibliografia.....	66

1 INTRODUÇÃO

As antigas práticas da indústria de hidrocarbonetos têm gerado locais contaminados na selva peruana desde a perfuração dos primeiros poços. Três características principais definem o ambiente natural desta zona de floresta de várzea do Peru: a abundância de seus recursos hídricos, as exuberantes florestas amazônicas e o privilégio de fazer parte da região com maior biodiversidade do Peru (OSINERGMIN, 2009). O Peru tem 84 zonas de vida das 104 existentes no mundo, compreendidas numa grande diversidade de climas, geoformas e tipos de vegetação, no que diz respeito à fauna (MINAM, 2015).

Os diferentes aspectos da indústria e os tipos de contaminação, como derramamentos na superfície de hidrocarbonetos ou descargas de água de produção, provocaram impactos no solo e na água com traços de hidrocarbonetos e metais pesados, que podem representar um risco ecotoxicológico para as espécies que vivem nos arredores (OSINERGMIN, 2009).

Este estudo se concentra em um dos mais antigos campos de petróleo localizados na selva do norte do Peru. O objetivo principal deste estudo foi avaliar o risco ecológico existente no campo Pavayacu, devido aos impactos da indústria de hidrocarbonetos ao longo do tempo. Para o desenvolvimento deste estudo, foram determinadas as espécies de interesse a serem protegidas, com base em estudos anteriores desenvolvidos na área. Assim, também foram determinadas as concentrações representativas das substâncias químicas de interesse no solo e na água. Com base nesses aspectos, foram desenvolvidos os cenários de exposição e as doses a que estão expostas as espécies de interesse, os quais foram comparados com valores de referência de toxicidade para caracterização de risco.

2 OBJETIVOS

Os objetivos específicos para esta avaliação de risco ecológico são:

- Determinar as sustâncias químicas de interesse (SQI) para o campo Pavayacu no Bloco 8.
- Determinar as espécies críticas no campo Pavayacu no Bloco 8;
- Determinar no nível de risco para espécies críticas.
- Desenvolver níveis específicos de remediação com base na avaliação de risco ecológico desenvolvida.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Atividade petrolífera na selva norte peruana

A região Nordeste, como o restante da floresta peruana, foi considerada uma região com potencial petrolífero desde o século XIX, devido ao grande número número de referências feitas à existência de um afloramento de petróleo e gás na fronteira andina oriental (ECOTEC-FLUOR DANIEL GTI, 1998).

Os trabalhos de exploração na selva peruana foram mínimos até a década de 1950, devido a localização da região, de difícil acesso, e o pouco desenvolvimento tecnológico na indústria do petróleo (OSINERGMIN, 2009). Os primeiros trabalhos de exploração foram limitados a levantamentos geológicos de superfície. Essa situação prevaleceu até quase o final da década (ECOTEC-FLUOR DANIEL GTI, 1998).

A concessão de áreas, mediante a promulgação da Lei do Petróleo no ano de 1952, incentivou a exploração de petróleo. Durante o período de 1953-1957, a Companhia Texaco realizou estudos sísmicos regionais, magnetometria e perfurou três poços ao longo de ambas as margens do rio Marañón, sendo abandonada por não encontrar petróleo. Entre 1957-1961, a Companhia *International Petroleum Company* (IPC) realizou um levantamento gravimétrico, que cobriu grande parte das bacias hidrográficas de Pastaza e Tigre (ECOTEC-FLUOR DANIEL GTI, 1998) .

Após o golpe de estado de 3 de outubro de 1968, o governo militar expropriou as instalações de petróleo do complexo industrial de Talara, bem como a refinaria de Conchán da Chevron e a cadeia de postos de serviço e fábricas do IPC. Foi ordenada a aquisição pelas Forças Armadas e a administração pela Companhia Petrolífera Fiscal. A Petróleos del Perú S. A. (Petroperú) foi criada para substituir a Companhia Petrolífera Fiscal. A Petroperú foi autorizada, por decreto-lei, a celebrar contratos de prospecção, sondagem e exploração de petróleo (OSINERGMIN, 2015).

É a partir do ano de 1969, com o início das operações da Petroperú, (companhia estatal de petróleo) e a incursão de várias empresas internacionais, que a exploração de petróleo na selva experimentou um importante impulso (OSINERGMIN, 2009).

O Bloco 8 foi descoberto pela Petroperú em 1971, empresa encarregada dos trabalhos de exploração que resultaram no descobrimento do campo de Corrientes. A perfuração subsequente permitiu o descobrimento de outros poços, como os dos campos Capirona, Pavayacu, Yanayacu, Valência, Nueva Esperanza e Chambira. A exploração desses poços foi realizada junto com a construção das baterias 1 e 2 de Corrientes, bateria 3 de Yanayacu, bateria 4 de Capirona, baterias 5 e 9 de Pavayacu, bateria 8 de Chambira, bateria 6 de Valência, e bateria Nueva Esperanza 7, essas três últimas baterias foram desativadas temporariamente devido à diminuição da produção (OSINERGMIN, 2009).

Em 1996, o Bloco 8 foi transferido pela Petroperú, como parte do programa de privatização do governo peruano, para o consórcio liderado pela Pluspetrol Peru Corporation, filial do Peru (Pluspetrol) (OSINERGMIN, 2009). A Pluspetrol é atualmente a operadora do Bloco 8.

3.2 Áreas contaminadas no Bloco 8, na floresta amazônica peruana

Nos parágrafos seguintes, são apresentados os principais aspectos dos estudos de identificação e remediação de locais contaminados no Bloco 8, com ênfase no campo de Pavayacu, onde esta pesquisa é centralizada.

3.2.1 Programa de Adequação e Gerenciamento Ambiental (PAMA)

Por meio do Decreto Supremo Nº 046-93-EM (revogado por normas posteriores), foi aprovado o Regulamento de Proteção Ambiental das Atividades de Hidrocarbonetos, com o objetivo de estabelecer as normas e disposições em âmbito nacional para o desenvolvimento da indústria de hidrocarbonetos, que excedam os limites estabelecidos, para que não causem impacto ambiental e/ou social negativo para as populações e ecossistemas (MINEM, 1993). No regulamento, indica-se que as empresas que estavam operando antes de sua promulgação deveriam apresentar um Programa de Adequação e Gerenciamento Ambiental (PAMA) para sua aprovação. O PAMA é o programa que descreve as ações e investimentos necessários para cumprir o decreto mencionado.

No ano de 1994, a Petroperú apresentou o PAMA da operação do Bloco 8, que continha uma descrição dos principais aspectos ambientais das operações, como a disposição de resíduos, gerenciamento de resíduos líquidos e águas residuais, gerenciamento e armazenamento de hidrocarbonetos, gerenciamento e destinação de águas de produção, derramamentos de óleo e uma descrição das medidas a serem aplicadas, dependendo dos regulamentos ambientais em vigor na época. No caso das Baterias de Produção, menciona-se que os agentes contaminantes são a água produzida e os derramamentos de óleo nos tanques ou os separadores, tendo como impactos ambientais a poluição do solo, deflorestação, perda da qualidade da água e ecossistema aquáticos e perda da biomassa aquática.

Em relação à existência de locais contaminados, o PAMA indica que os derramamentos de óleo ocorreram principalmente na ruptura das linhas de fluxo devido à corrosão externa dos oleodutos que foram colocados diretamente sobre o solo, assim como as obras de manutenção. Nas áreas da bateria, os derramamentos eram causados por exaustão nos separadores, e atividades de reparo e manutenção.

A fim de reduzir esses impactos, a Petroperú indicou que têm realizado trabalhos de limpeza das áreas manchadas, eliminando o petróleo cru e os resíduos existentes no fundo dos tanques, dispondo tais resíduos em sacos de polietileno e enterrando-os em áreas externas às Baterias. Ademais, um uso alternativo desses resíduos está sendo avaliado como material estabilizado nas estradas (MONDINA, 1995).

Para o campo Pavayacu, o PAMA também menciona que o descarte de água de produção em 1994 foi dado pelo método de descarte de superfície. A Petroperú descarregava 131,5 MBPD (milhares de barris por dia) de água de produção nos córregos e rios próximos às suas instalações, com uma média de 33 MBPD para as baterias 5 e 9 de Pavayacu. A água de produção era despejada em riachos próximos às baterias para sua condução e descarga final no rio Tigre. As águas vertidas na Quebrada de Huanganayacu, a 1 km da Bateria 5, registraram valores acima de 50 000 ppm. de cloretos (MONDINA, 1995).

Nesse sentido, a então Agência de Fiscalização de Atividades de Hidrocarbonetos (OSINERG) menciona essa prática, indicando ainda que em 2003, 341,7 MBPD de água de produção foram descarregados diariamente, dos quais 77,08 MBPD foram descarregados diretamente nos córregos e rios próximos às suas

instalações e 264,62 MBPD descarregados através de aquedutos diretamente nos rios próximos às suas instalações (OSINERGMIN, 2009).

Para o ano de 1994, dado que era esperado um aumento considerável na produção de água nessa área a médio prazo, o PAMA indicou que deveria ser construído um aqueduto de PVC ou fibra de vidro para descarregar a água de produção no rio Corrientes.

3.2.2 *Estudo Ambiental do Bloco 8*

O PAMA foi parcialmente cumprido porque os projetos de remediação incluídos foram contemplados por meio do Contrato de Cessão de Posição Contratual no processo de privatização da Petroperú. Como parte da privatização das unidades de negócios da Petroperú em julho de 1996, entrou em vigor a cessão do contrato em favor da Pluspetrol.

A partir da transferência do Bloco, foi iniciado um processo de avaliação ambiental, denominado Estudo Ambiental do Bloco 8. O objetivo deste estudo foi estabelecer os níveis de impacto ambiental, físico, biológico e socioeconômico, e gerar um relatório detalhado e indicar as condições em que a Petroperú entregou o Bloco 8 à Pluspetrol. O estudo incluiu a identificação e caracterização de situações de contaminação e/ou danos ambientais causados pelas atividades de petróleo no Bloco.

Como parte do processo de avaliação ambiental, foi necessário determinar níveis de intervenção e objetivo para as várias situações que poderiam ser encontradas. Os níveis foram desenvolvidos pela consultoria ambiental The Seacrest Group (Seacrest) sobre a base de critérios numéricos de concentração de poluentes e foram aprovados pela Direção General do Hidrocarbonetos do Ministério de Energia e Mineração, no ano de 1997.

A Seacrest também realizou uma avaliação ambiental da Fase I, que priorizou a avaliação de riscos e a verificação dos locais afetados com base no risco potencial à população ou ao meio ambiente. Baterias e plataformas de poço foram visitadas e inspecionadas. Além disso, outras instalações industriais, acampamentos e outros locais de interesse foram revistos. Na inspeção de campo, problemas de contaminação foram identificados e os dados necessários foram coletados para permitir uma avaliação mais precisa da extensão da contaminação e da necessidade de sua adaptação ou remediação.

O Estudo Ambiental do Bloco 8 é parte do Plano Ambiental Complementar (PAC), desenvolvido na seção a seguir.

3.2.3 *Plano Ambiental Complementar (PAC)*

Por meio do Decreto Supremo nº 028-2003-EM, foi criada a figura do Plano Ambiental Complementar (PAC), que visava garantir o cumprimento dos compromissos relacionados à proteção ambiental, mediante a avaliação dos impactos ambientais nas áreas de operação que não foram inicialmente consideradas nos PAMAs e/ou, se houver, foram subdimensionadas nos respectivos PAMAs.

Em 2005, a Pluspetrol apresentou o PAC para o Bloco 8, no qual incluiu o desenvolvimento das duas ações principais. A primeira, ligada à reinjeção das águas de produção e o segundo relacionado à remediação de áreas contaminadas identificadas no Estudo Ambiental do Bloco 8. Da mesma forma, a pedido da Diretoria Geral de Assuntos Ambientais Energéticos (DGAAE), o PAC incluiu o desenvolvimento da atualização da linha de base ambiental do Bloco 8, preparada pela consultoria Walsh Perú S.A. (Walsh). O PAC foi aprovado pela DGAAE no ano de 2006.

O PAC assinalou que descartar as águas de produção das baterias 5 e 9 do campo de Pavayacu, no rio Corrientes, não era tecnicamente possível, motivo pelo qual o PAC determinou que fosse realizada a reinjeção das águas de produção na formação geológica. Para o ano de 2005, o PAC assinala que o Campo Petrolífero de Pavayacu produziu 3 500 BOPD (barris de petróleo por dia) com 80.000 BWPD (barris de água por dia). Após um acordo entre as comunidades nativas e o Estado, foi incluído o compromisso de reinjetar 100% das águas de produção do Bloco 8 antes de julho de 2008.

O plano de remediação para os locais afetados no Bloco 8 incluído no PAC, teve como objetivo implementar metodologias aceitáveis até que as áreas atendam aos padrões de referência. Como a legislação peruana para o setor de hidrocarbonetos não possuía, até então, padrões de qualidade do solo, ou limites que permitissem determinar em quais situações uma ação de remediação era necessária (níveis de intervenção), nem limites que permitissem a conclusão de qualquer trabalho de remediação (níveis-objetivo), foram utilizados padrões de referência relacionados às condições ambientais do Bloco 8, aprovados pela Direção Geral do

Hidrocarbonetos do Ministério de Energia e Mineração no ano de 1997 (PLUSPETROL, 2006). Esses níveis foram desenvolvidos com base em uma análise qualitativa de risco.

O PAC determinou um grupo de 27 locais para remediar, dos quais sete pertenciam ao campo de Pavayacu. Dos sete locais, dois deles estão localizados em um mesmo sistema, os denominados “Bateria 9, Local 1” e “Local Múltiplo 1 Bateria 9, Plataforma 70”. A Bateria 9 coleta o petróleo da parte oeste do campo e foi construída para complementar a capacidade da Bateria 5. O canal do córrego que recebe a água produzida é afetado ao longo de sua jornada, no entanto, a área de maior impacto está distante da bateria, localizada onde o córrego sai das colinas e atinge uma área caracterizada por buritizais. Nesta área pantanosa, a água se espalha e afeta grandes áreas. No ano de 2006, a descarga da água produzida ficava ativa e, conforme indicado no PAC, a área total do buritizal impactado foi de quase 300 ha. A plataforma 70 está localizada perto da Bateria 9 e sua drenagem faz parte do mesmo sistema, a 240 m de distância da Bateria 9.

O prazo para finalizar os trabalhos do PAC foi de 4 anos. Ao término do prazo, ficaram algumas atividades que não foram concluídas e alguns locais foram determinados como não cumpridos pela autoridade de fiscalização ambiental do sector no ano de 2011, entre eles, os locais “Bateria 9, Sitio 1” e o “Sitio Múltiplo 1 Bateria 9, Plataforma 70”. Para eles, foi determinada a necessidade de apresentar um Plano de Cessação de Atividades. A Pluspetrol apresentou o Plano de Cessação, que estava sob revisão pela autoridade ambiental competente, quando no Peru foram aprovados os regulamentos para os Padrões de Qualidade do Solo e suas disposições para aplicação.

3.2.4 Planos de descontaminação do solo (PDS)

Em 2013, foram promulgados os Padrões de Qualidade do Solo (PQS) e suas disposições para aplicação e pela vez primeira, o Peru tinha uma normativa para o gerenciamento de áreas contaminadas. Em 2014 foram promulgadas disposições complementares para a aplicação dos Padrões de Qualidade do Solo (PQS). Estas disposições indicavam que, após uma avaliação feita em etapas (etapa de identificação ou avaliação preliminar e etapa de caracterização), o responsável do sítio tinha que apresentar um Plano de Descontaminação do Solo (PDS). Assim

também, o PDS podia incluir o desenvolvimento de uma avaliação de risco para a saúde humana e ao ambiente e a consequente determinação dos níveis de remediação específicos para o sítio contaminado. A norma de PQS indicava que para aqueles locais, incluídos em outros instrumentos de gestão ambiental, que não conseguiram alcançar as metas de remediação e foram declarados não cumpridos pela autoridade de fiscalização ambiental, não precisavam fazer a fase de identificação de locais e deviam apresentar diretamente o PDS no prazo de 24 meses.

A Pluspetrol contratou a empresa de consultoria CH2M HILL para a realização da avaliação ambiental das áreas contaminadas e em 2016, foram apresentados os Planos de Descontaminação de Solo para todos os locais do Bloco 8 que não tinham atingido os objetivos de remediação no PAC. O presente estudo de avaliação de risco ecológico emprega os dados incluídos no PDS, por ser a informação mais completa e recente disponível.

A CH2M HILL coletou 1588 amostras de solo nos 7 locais PAC do campo Pavayacu. Dessas amostras, 601 foram coletadas no estrato superficial, as quais serão usadas para o presente trabalho.

3.2.5 Locais Contaminados determinados pelo OEFA

Atualmente, desde o ano de 2008, no Peru, existe o Órgão de Avaliação e Fiscalização Ambiental (OEFA), quem tem as funções de supervisão, avaliação, fiscalização e penalização na matéria ambiental, nos sectores de energia, mineração, pesca e indústria. As funções do OSINERGMIN foram trasladadas para o OEFA.

Em 2016, o OEFA fez um relatório da identificação de locais contaminados no Bloco 8 na Bacia do Rio Corrientes (campos de Corrientes, Pavayacu e Nueva Esperanza). Os objetivos do relatório foram avaliar a qualidade ambiental do solo nos locais que não estejam incluídos no PAC do Bloco 8 e por outro lado, avaliar a qualidade ambiental dos locais incluídos no PAC (OEFA, 2016).

As principais conclusões do relatório do OEFA foram:

3.2.5.1 Locais contaminados não contemplados no PAC do Bloco 8

Na bacia do rio Corrientes, área do Bloco 8, o OEFA indica que foi possível identificar locais contaminados pela atividade de hidrocarbonetos, distribuídos da

seguinte forma: 25 locais contaminados na área de Corrientes, 10 locais na área de Pavayacu e 9 locais contaminados na área de Nueva Esperanza.

Na avaliação de áreas contaminadas na área de Corrientes, foram encontrados metais como arsênico, bário, cádmio e chumbo que excederam o Padrão de Qualidade Ambiental para solos de uso agrícola, dos quais o elemento predominante era o chumbo.

Enquanto na avaliação de áreas contaminadas em Pavayacu, foram encontrados parâmetros como cromo VI e a fração de hidrocarbonetos F2 (C10-C28) que excederam o Padrão de Qualidade Ambiental para solos de uso agrícola.

Resultados semelhantes foram encontrados no local Nueva Esperanza. O cromo VI é o poluente predominante nos dois locais. Em relação aos hidrocarbonetos totais de petróleo, nos três locais avaliados, foi relatado que na fração média (F2: C10-C28) e na fração pesada (F3: C28-C40), eles excederam os padrões de comparação para solos. A fração média é o parâmetro com a frequência mais alta.

A respeito, é preciso indicar que o OEFA coletou amostras “branco” localizadas a 500 metros da rodovia, longe da área de operações. Essas amostras também mostraram valores de cromo VI acima dos padrões de qualidade ambiental.

O OEFA coletou 43 amostras em locais diferentes daqueles incluídos no PAC. Dessas amostras, 19 apresentaram valores de cromo VI acima dos padrões de qualidade ambiental para uso agrícola (incluindo dois pontos brancos), uma amostra teve excesso de arsênico, seis tiveram excesso de cádmio (incluindo o ponto branco), 14 excederam a fração média de hidrocarbonetos (F2:C10-C28), dois excedências na fração pesada de hidrocarboneto (F3:C28-C40) e uma excedência em bário. Para os parâmetros fração leve de hidrocarbonetos (F1:C6-C10), chumbo e mercúrio, valores acima dos padrões de qualidade ambiental não foram encontrados ou não foram detectados pelo método analítico.

O OEFA também efetuou análises de extração sequencial em algumas amostras de solo, para determinar a fração solúvel dos metais presentes nas amostras. Para o cádmio, 45% estava relacionado à fração 1 (intercambiável). Para o chumbo, entre 40% e 80% resultou na fração 5 (associada à fase residual, minerais primários e secundários). No caso do cromo total, a fração 5 representou, em média, 88% da concentração detectada na amostra.

3.2.5.2 Locais contaminados incluídos no PAC do Bloco 8

As concentrações de cromo VI das amostras colhidas nos locais contemplados no PAC - local de Corrientes excederam o padrão de comparação ECA - para solos para uso agrícola em todos os pontos de amostragem, enquanto no local de Pavayacu as concentrações excederam o padrão da comparação em 3 dos 5 pontos amostrados.

3.3 Avaliação de Risco Ecológico (ARE)

A avaliação de risco ecológico (ARE) é definida como um processo que avalia a probabilidade de ocorrência de efeitos ecológicos adversos como resultado da exposição a um ou mais estressores. Um risco não existe a menos que o estressor tenha a capacidade intrínseca de produzir um ou mais efeitos adversos, e ocorra com ou entre em contato com um componente ecológico (isto é, organismos, populações, comunidades ou ecossistemas) por tempo suficiente e em intensidade suficiente para causar o efeito adverso identificado. A avaliação de risco ecológico pode avaliar um ou mais estressores e componentes ecológicos (U.S. EPA, 1992).

O processo de avaliação de riscos ecológicos é baseado em dois elementos principais: a caracterização dos efeitos e a caracterização da exposição. Eles fornecem o foco para a realização das três fases da avaliação de risco: formulação do problema, fase de análise de exposição e toxicidade e fase de caracterização do risco.

O Guia para a elaboração de estudos de avaliação de riscos ambientais e de saúde (ERSA) em locais contaminados do Ministério de Ambiente do Peru (MINAM, 2015), define a avaliação de risco ecológico como o processo de estimar a probabilidade do ambiente sofrer impactos adversos como resultado da exposição a um ou mais estressores, como substâncias químicas, mudanças no uso da terra, entre outros.

Uma ARE pode ser elaborada seguindo a metodologia desenvolvida pela USEPA (1998), que define uma avaliação de risco ecológico em três etapas subsequentes:

- Definição do problema;
- Análise, que inclui a caracterização da exposição e efeitos ecológicos;
- Caracterização do risco.

As orientações da avaliação de risco para saúde humana e o ambiente (MINAM, 2015), indicam que a determinação de níveis de remediação tem que ser feita baseando-se na avaliação de risco para espécies críticas. Uma espécie crítica é definida como uma espécie com interesse ecológico ou econômico, considerando seu estado de proteção pela legislação peruana e, portanto, é preciso conhecer sua vulnerabilidade aos efeitos de um poluente, e pode ser selecionada para fazer o estudo de avaliação de risco ecológico.

4 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os principais aspectos das características da área de estudo foram obtidos a partir dos estudos da área, principalmente dos documentos apresentados pela Petroperu e Pluspetrol ao Ministério de Energia e Minas, que é a autoridade ambiental competente.

Como pode ser visto na Figura 1, o Bloco 8 está localizado na selva norte do Peru, no distrito de Tigre, província de Loreto, departamento de Loreto (WALSH, 2018). O acesso ao Bloco 8 pode ser feito por via aérea, usando os voos da Pluspetrol desde Iquitos para o acampamento base de Trompeteros, ou por água através do rio Corrientes. O acesso ao campo de Pavayacu pode ser feito pelo rio Corrientes até a baía de Pucacuro e depois por terra por 9 km, ou por helicóptero de Trompeteros.

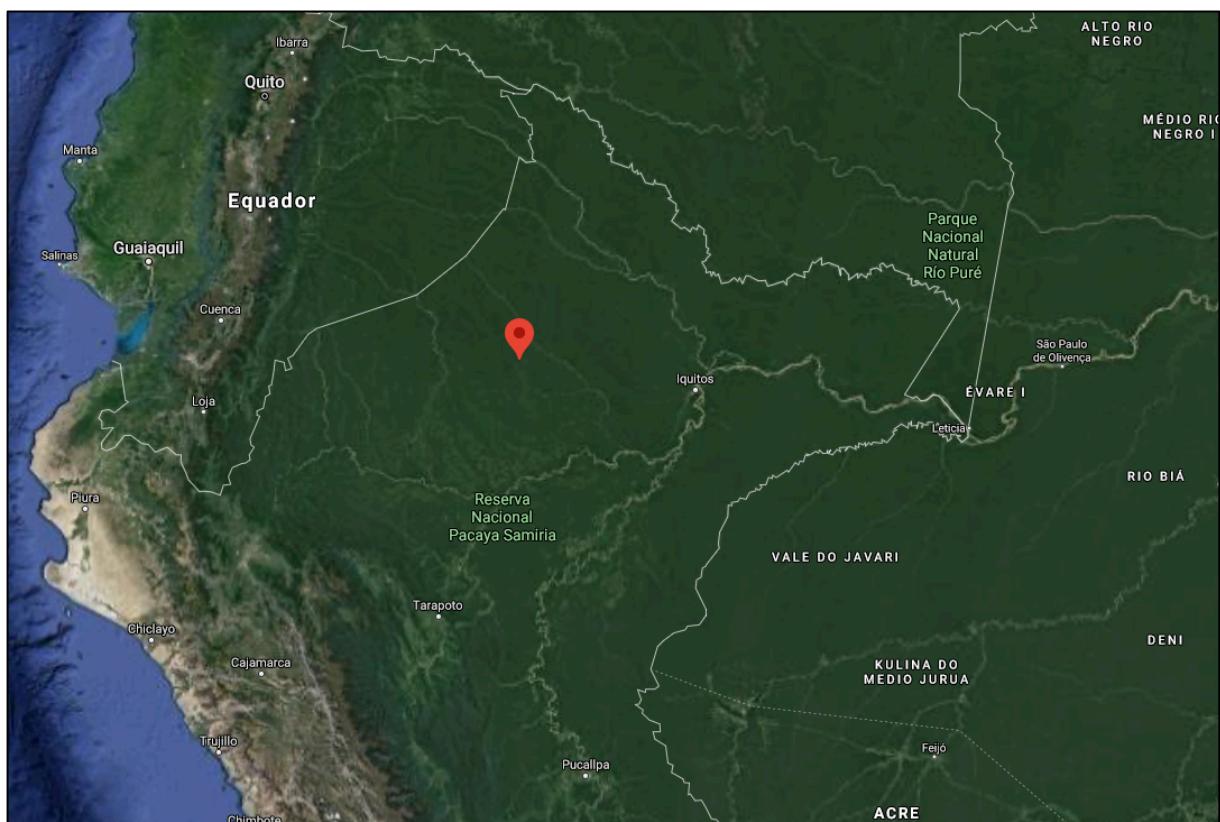


Figura 1. Localização do Bloco 8

4.1 Geologia Regional

Unidades litoestratigráficas que vão do Paleoceno ao Quaternário foram identificadas em afloramentos na planície amazônica peruana. Os mais antigos correspondem à Formação Yahuarango, caracterizada por sequências de arenito de origem continental desde lago até tipo fluvial; sua idade é considerada o Alto Maestrichtiano-Eoceno Médio. O ambiente geológico ambiental da área de trabalho é regido por processos geológicos externos ligados à ação da água, produto das chuvas e da dinâmica dos rios, resultando em processos de degradação e agravamento. Entre os fenômenos geodinâmicos externos mais frequentes estão a erosão fluvial, deslizamentos de terra, restos de areia e inundações, principalmente devido à atividade erosiva dos rios e fatores antrópicos (INGEMMET, 1999).

A área do Bloco 8 inclui a bacia sedimentar do Marañón terciário-quaternário, cujas unidades geológicas são principalmente cobertas por vegetação densa. As faixas geológicas mais importantes que podem ser identificadas em campo são: sedimentos aluviais orgânicos, formação de pântanos, turfeiras e buritizais, que morfologicamente são depressões associadas ao acúmulo fluvial. Os sedimentos fluvial-aluviais que aparecem nas duas margens dos afluentes que drenam os principais rios, como o rio Corrientes e o rio Tigre, são depósitos de areia, argila e matéria orgânica. Sedimentos fluviais ocorrem em ambas as margens do rio Corrientes, compostas por areias e lodos, acumuladas em planos de inundação, bancos de areia e terraços (MONDINA, 1995).

A área do Campo Pavayacu está localizada na bacia do rio Corrientes, o principal coletor hidrológico da região. Fisiograficamente, faz parte da selva baixa ou planície amazônica, caracterizada por apresentar um relevo constituído por colinas baixas desenvolvidas sobre substratos rochosos plio-quaternários. O rio Corrientes e as massas de água que atravessam a área do Campo Pavayacu têm um caráter notoriamente sinuoso. Da mesma forma, o Corrientes apresenta seu canal incorporado entre seus terraços médios como resultado de levantamentos epirogênicos modernos. Nesse ambiente geomorfológico, os terraços aluviais são caracterizados por sua assimetria e por moldar superfícies planas com declives inferiores a 4%; enquanto isso, o cenário formado pelo sistema de colinas baixas é

consequência de um processo de erosão contínuo, que dissecava o terreno e busca diminuir o relevo (WALSH, 2018).

4.2 Hidrologia e Hidrogeologia

4.2.1 *Hidrologia*

A área de estudo pertence à encosta do Atlântico, onde existe uma abundância de água em comparação com os baixos usos de consumo. No entanto, a maior importância da água nesta área está associada à vida aquática nos rios, bem como ao transporte fluvial característico dos ambientes tropicais (WALSH, 2018). O rio Corrientes, o principal rio da região, une-se com o rio Tigre e desagua no rio Marañón. Seu curso é tortuoso, com águas turvas, correnteza rápida, navegável com um trecho de 320 quilômetros em grandes barcos (MONDINA, 1995).

O rio Corrientes se forma na confluência dos rios Guyuyacu e Bufeoyacu, na República do Equador. É um afluente do rio Tigre, na margem direita. A maior parte de sua rota está no território peruano (direção geral sudeste), até aproximadamente 148 km a jusante da confluência do rio Tigre com o rio Pucacuro. Quase toda a sua rota é paralela ao rio Tigre e tem um comprimento de 499 km (em nosso território). É um rio comprido e sinuoso, sua largura varia de 80 a 150 m, as correntes são inferiores a 3 nós. O terreno é geralmente alto, sem inundações, com exceção da área da boca e arredores, onde você pode ver planícies parcialmente inundadas (WALSH, 2006).

O rio Tigre é um dos afluentes mais importantes do rio Marañón. Seu canal tem cerca de 500 metros de largura na foz e 150 metros na confluência do Pintoyacu com o Cunambo, ponto pelo qual entra no território peruano. Sua calha é profunda e navegável durante todo o ano, embora embutida e tortuosa; ao longo de seu curso, não há ilhas além das de Lupunillo e Yacumana (WALSH, 2006).

Perto do campo Pavayacu, fica uma divisória de águas que divide a bacia da Rio Corrientes da bacia da Rio Tigre. Nesta divisória nasce a corrente de água chamada Petroboa e depois Huanganayacu, que desagua no rio Tigre.

O depósito de Pavayacu está localizado inteiramente em terra cuja fisiografia é montanhosa com desfiladeiros e declives íngremes. As baterias e todas

as locações dos poços estão localizadas no lado leste dos divisores de água dos rios Corrientes e Tigre, drenando para o rio Tigre, embora seja mais distante. Devido às características do terreno, todos os drenos e, portanto, qualquer descarga, são unidos na mesma área de terraços planos com pouca drenagem localizada entre as colinas de Pavayacu e o rio Tigre. Esses terraços são cobertos com pântanos, caracterizados por sua sensibilidade à contaminação aquática, resultando em extensas áreas com impactos na vegetação (PLUSPETROL, 2006).

4.2.2 Hidrogeologia

A estrutura e o comportamento dos aquíferos são definidos por múltiplos fatores, dentre os quais destacam-se a geologia e geoformas predominantes, características litológicas, cobertura vegetal e precipitação. A Amazônia peruana apresenta uma base rochosa de sedimentos terciários e cretáceos, cuja conformação varia entre argilas e arenitos. As geoformas que dominam a área são terraços médios com alguns setores de colinas e colinas baixas a levemente dissecadas, onde se destacam as áreas de pouca drenagem que constituem buritizais e áreas pantanosas com lençóis freáticos muito superficiais. A área do depósito de Pavayacu é composta pela formação pré quaternária de Nauta, onde correm as águas do desfiladeiro de Pedregal. As áreas circundantes ao local são ligeiramente elevadas, enquanto as áreas inundadas do terraço ficam adjacentes ao rio Corrientes. Como é o caso da maior parte da Amazônia, essa área não constitui uma área para a exploração de águas subterrâneas devido às condições descritas.

A área do campo Pavayacu é constituída pela formação pré-quaternária Nauta, por onde fluem as águas do riacho Pedregal. As áreas ao redor do local são ligeiramente elevadas, enquanto as áreas de terraços inundados são adjacentes ao rio Corrientes. O aquífero da área é do tipo livre, encontrando-se à pressão atmosférica. Quanto à qualidade da água subterrânea, apresenta um pH ácido com valores que variam entre 4,96 e 5,17; que é característico da Amazônia peruana.

4.3 Clima e Condições Meteorológicas

O Clima quente muito úmido representa o tipo climático dominante na área da zona norte estudada, comprometendo a paisagem de colinas baixas, morros e terraços aluviais da mencionada área (WALSH, 2018).

4.3.1 *Precipitação*

Os meses com maior precipitação são de março a julho e os meses com menor precipitação são agosto e setembro. A precipitação total média plurianual da área de estudo é de 2.600 mm/ano, mostrando pouca variação interanual. As chuvas geralmente ocorrem após o meio-dia e terminam antes da meia-noite. A precipitação na estação chuvosa varia pouco de mês para mês e está relacionada ao movimento sazonal do sol. O principal mecanismo de geração de chuva é a convecção (tempestades). As chuvas caem principalmente na forma de chuveiros curtos e intensos de algumas horas por dia (WALSH, 2018).

4.3.2 *Temperatura*

A temperatura máxima média anual varia entre 30 e 31 °C, com um pequeno gradiente latitudinal devido ao fato de as cidades ao norte possuírem maior altitude e maior cobertura de nuvens, pois estão mais próximas da cordilheira do Cónedor. As variações longitudinais (Leste-Oeste) são insignificantes. As variações interanuais são pequenas (aproximadamente 1 °C), portanto, a magnitude da temperatura do ar depende basicamente da altitude. A temperatura mínima média anual é de cerca de 21 °C, diminuindo ligeiramente para o norte, basicamente devido à maior altitude. Na direção Leste-Oeste (longitudinalmente), o campo de temperatura é praticamente uniforme. A temperatura mostra pouca variação sazonal, variando de 24,5 °C a 26,0 °C devido à alta concentração de vapor de água na atmosfera. Em janeiro, mês representativo do verão, a temperatura média é de 25,6 °C, enquanto em abril, mês representativo do outono, a temperatura média é de 25,3 °C. Em julho e outubro, meses representativos do inverno e da primavera, a temperatura média é de 24,5 °C e 25,5 °C, respectivamente (WALSH, 2018).

4.3.3 *Umidade relativa*

A umidade relativa indica o grau de saturação da umidade da atmosfera. Na área de estudo, essa variável apresenta uma média anual de 88%; também a configuração da área é homogênea.

A umidade relativa máxima é superior a 90% e ocorre durante períodos de chuva ou ao amanhecer. A umidade relativa mínima é superior a 80% e ocorre durante o período de maior aquecimento ou temperatura.

4.3.4 *Nebulosidade*

Sobre a bacia amazônica, de janeiro a março, “aglomerados” de nuvens convectivas se desenvolvem; de julho a outubro as nuvens aparecem isoladamente (cúmulo-nimbo isolado). Os cúmulo-nimbos dispersos são os mais frequentes de maio a outubro, sendo os meses menos chuvosos.

4.3.5 *Vento*

Na parte norte da Amazônia peruana, os ventos predominantes são do leste. O clima calmo é predominante. Há períodos de vento caracterizados por uma velocidade do vento ligeiramente baixa, aproximadamente 5 m/s. Ocasionalmente, quando nuvens em desenvolvimento altamente verticalizadas (aglomerados de cúmulo-nimbos) se desenvolvem, fortes rajadas de vento com velocidades superiores a 10 m/s.

4.4 Ecologia Regional

A informação aqui apresentada foi obtida do Plano de Abandono da Bateria 5 (WALSH, 2018), apresentado pela Pluspetrol. Assim também, como parte do Plano de Abandono (ERM, 2019), requerido pela autoridade cinco anos antes do vencimento do contrato, e foi apresentada informação do meio biológico no Bloco 8.

A informação é complementada com o Relatório de Avaliação Ambiental do Bloco 8 desenvolvido pelo OEFA em 2016, o qual teve como objetivo avaliar a qualidade ambiental na área de influência do Bloco 8, a fim de identificar possíveis fontes poluidoras e determinar os possíveis impactos gerados pela atividade de

hidrocarbonetos na qualidade ambiental da água, solo, sedimentos, flora e fauna. A avaliação incluiu amostras de água, sedimento e hidrobiológicas, assim como avaliação de flora e fauna.

4.4.1 Vegetação

A empresa de consultoria ERM (2019) definiu para o campo de Pavayacu, quatro unidades de vegetação, conforme detalhado abaixo:

4.4.1.1 Floresta de terraço alto

Esta unidade de vegetação está localizada em uma plataforma composta por acumulação fluvial antiga, com uma inclinação de 0 a 15% e perto de 10 m de altitude; apresenta cobertura vegetal densa e semi-densa. A vegetação na área de estudo é composta por algumas árvores com mais de 25 m de altura. O dossel da floresta é semi-fechado, o sub-bosque escasso composto por arbustos, com serapilheira de 3 a 5 cm de espessura. As espécies vegetais predominantes foram palmeiras: *Socratea exorrhiza*, *Wettinia drudei*, *Hyospathe elegans* e *Geonoma macrostachys*; árvores: *Helicostylis tovarensis*, *Iryanthera Paradox* e *Zizia Catarctae*.

4.4.1.2 Floresta de terraço baixo

Esta unidade de vegetação está localizada na planície de inundação da selva baixa, ocupando os terraços baixos inundáveis e os terraços médios não inundáveis. Sua vegetação é composta por espécies arbóreas como: *Casearia arborea* "Purma caspi", *Hymenolobium excelsum* "Mari", *Ficus insipida* "Oje" e palmeiras como *Iriartea deltoidea* "Huacrapona", *Socratea exorrhiza* "Cashapona", respetivamente.

4.4.1.3 Floresta de colina baixa

Esta unidade de vegetação envolve as florestas desenvolvidas em dois tipos de geoformas (colinas baixas e colinas), cuja superfície é maior que colinas, desenvolve-se em terras originadas por acumulação fluvial muito antiga e ocorre em diferentes graus de dissecção ou erosão, com elevação topográfica com menos de 80 m de altura em relação à sua base. As espécies vegetais dominantes foram: palmeiras: *Batis hirta*, *Chamaedorea pinnatifrons*, *Euterpe catinga*, *Geonoma macrostachys* e *Lepidocarym tenui*; árvores: *Brosimum alicastrum*, *Eschweilera*

coreacea, *Vantanea parviflora*, *Virola pavonis* e *Zizia Catarctae* e o arbusto *Hirtella bicornis*.

4.4.1.4 Área não florestal da Amazônia

Esta unidade é geralmente referida às áreas de cultivo ou purmas, onde houve intervenção antrópica, em muitos casos devido ao efeito do processo de construção e acesso ao bloco. Não é possível determinar a cobertura de vegetação muito densa, a maioria das quais perdeu cobertura de árvores e espécies herbáceas predominam em abundância. A área de estudo localizava-se em terrenos planos inundáveis e não inundáveis.

De acordo com o Plano de Abandono da Bateria 5 (WALSH, 2018) uma (01) espécie de planta foi registada como Quase Ameaçada (NT) *Maytenus macrocarpa* “chuchuhuasi” e uma espécie também como NT para a IUCN, *Minquartia guianensis* “huacapú”.

4.4.2 Entomologia

Durante a estação chuvosa, a espécie com maior percentagem de abundância para todas as unidades de vegetação avaliadas foi o besouro *Eurysternus cayennensis*; enquanto na estação seca, o besouro *Deltochilum sp.* foi a espécie mais abundante para as unidades de avaliação avaliadas. Nenhuma espécie classificada para a entomofauna de acordo com a legislação nacional foi relatada, nem foram registadas espécies endêmicas (ERM, 2019).

4.4.3 Mamíferos menores

A família mais representativa para os dois períodos de avaliação corresponde aos morcegos *Phyllostomidae*. Durante a estação chuvosa, o morcego *Carollia perspicillata* foi registrado como a espécie mais abundante na Floresta de colina baixa (32,56%) e na área não florestal da Amazônia (55,56%); enquanto, para a estação seca, os morcegos *Rhinophylla pumilio* foram registrados como as espécies mais abundantes em ambas as unidades de vegetação. Não foram registradas espécies de mamíferos menores voadores ou não voadores pertencentes a qualquer categoria de conservação da legislação peruana, nem nenhuma espécie endêmica foi registrada (ERM, 2019).

4.4.4 Mamíferos maiores

O Plano de Abandono do Bloco 8 indica que as espécies com maior índice de abundância para o campo Pavayacu foram a anta *Tapirus terrestris* e chosna *Potos flavus*. A espécie *Tapirus Terrestre*, foi registada como Quase Ameaçada (NT); a espécie *Priodontes maximus* considerada vulnerável (VU); e as espécies de *Mazama americana* com dados insuficientes, de acordo com a legislação nacional (D.S. 004-2014-MINAGRI). Nas avaliações realizadas, nenhuma espécie endêmica foi registada. A presença da Anta (*Tapirus terrestris*) é um indicador de florestas em bom estado de conservação e, por sua vez, é considerado um indicador de mudanças ambientais, por serem sensíveis a atividades antrópicas e à modificação de seu ambiente (ERM, 2019).

Walsh (2018) registrou um total de três espécies de mamíferos importantes por meio de pegadas, odor, cavernas e observações: *Tamandua tetradactyla* (Tamanduá), *Cuniculus paca* (majaz), e *Dasyprocta fuliginosa* (añuje).

O OEFA instalou câmeras de armadilha nos campos Corrientes e Nueva Esperanza. Com base nessa avaliação, está indicado em seu relatório que no Peru, existem 125 espécies de mamíferos incluídas em categorias de conservação, das quais sete estão habitando os locais onde a pesquisa foi realizada (OEFA, 2015). Destes, três estão em situação vulnerável (VU): o cachorro-do-mato, *Atelocynus microtis*; o tamanduá, *Myrmecophaga tridactyla* e o tatu-gigante ou yangunturo *Priodontes maximus*. Três espécies estão em situação de quase ameaça (NT): otorongo, *Panthera onca*; puma, *Puma concolor* e a anta ou sachavaca *Tapirus terrestris*, espécies com ampla distribuição, mas limitadas a florestas primárias. Por fim, na categoria Dados Insuficientes (DD) estão o veado *Mazama americana* e o esquilo de barriga amarela *Microsciurus flaviventer*.

4.4.5 Avifauna

Durante a estação úmida, *Pyrrhula melanura* (periquito-de-cauda-marrom) foi registrada como a espécie mais abundante na área não florestal da Amazônia, enquanto para a Floresta de colina baixa a mais abundante foi *Ara ararauna* (arara azul-amarela). Para a estação seca, *Ara severus* (arara severa) foi registrada como a espécie mais abundante na Floresta de colina baixa; enquanto na Área não florestal

da Amazônia, as espécies mais abundantes foram *Brotogeris cyanoptera* (periquito de asa de cobalto) (ERM, 2019).

Segundo ERM (2019) a espécie *Ara chloropterus* foi listada na categoria Quase Ameaçada (NT), de acordo com a legislação nacional. Entre as espécies com categoria de proteção estabelecidas pela IUCN (União Internacional para a Conservação da Natureza), versão 2018-2, foram registradas 23 espécies listadas na categoria Menor Preocupação (LC); três espécies (*Patagioenas subvinacea*, *Ramphastos tucanus* e *Ramphastos vitellinus*) estão listadas na categoria Vulnerável (VU); e a espécie *Odontophorus gujanensis* está listada na categoria Quase Ameaçada (NT). As espécies endêmicas não foram registradas.

4.4.6 Herpetologia

Nenhuma espécie protegida pela legislação nacional foi registrada. Entre as espécies com categoria de proteção estabelecidas pela IUCN, versão 2018-2, em relação aos anfíbios, havia vinte e três espécies listadas na categoria Menor Preocupação (LC) e duas espécies na categoria Dados Insuficientes (DD). Em relação aos répteis, a espécie *Loxopholis parietalis* foi registrada na categoria de menor preocupação (LC). Nenhuma espécie endêmica foi relatada na área de estudo de anfíbios ou répteis (ERM, 2019).

4.4.7 Hidrobiologia

4.4.7.1 Fitoplâncton

A composição do fitoplâncton no depósito de Pavayacu foi representada por 41 espécies na estação chuvosa e 15 espécies na estação seca, distribuídas em 5 filos ou divisões. O filo de Charophyta foi o mais representativo para a estação chuvosa e o filo de Bacillariophyta foi o mais representativo para a estação seca.

4.4.7.2 Zooplâncton

A composição do zooplâncton no depósito de Pavayacu foi representada por 14 espécies na estação chuvosa e oito espécies na estação seca, distribuídas em cinco filos ou divisões. A divisão Rotiferous foi a mais representativa para a estação chuvosa, e para a estação seca a divisão Lobosa e Rotiferous foi a mais representativa.

4.4.7.3 Perifiton

A comunidade de perifítos no depósito de Pavayacu foi composta por 29 espécies na estação chuvosa e 17 espécies na estação seca, distribuídas em 5 filos ou divisões. A divisão Bacillariophyta foi a mais representativa nas duas estações, chuvosa e seca.

4.4.7.4 Bentos

A comunidade bentônica nos córregos do campo Pavayacu foi composta por 24 espécies identificadas na estação chuvosa e 54 espécies na estação seca, todas distribuídas em 3 classes. O filo com o maior número de espécies foi Arthropoda (Insecta), com 22 espécies representando 92% (estação chuvosa), a mesma tendência foi registrada para a estação seca, estimando 76% para a mesma classe.

4.4.7.5 Necton

Na área de estudo, 37 espécies de peixes foram identificadas na estação chuvosa e 19 espécies na estação seca, todas agrupadas em 5 ordens. A ordem Characiformes foi o grupo que registrou o maior número de espécies, estimado em 70% e 85%, nas estações chuvosa e seca, respectivamente. ERM analisou o conteúdo de metal em peixes. Todas as amostras de metal nos peixes resultaram em concentrações inferiores ao teor máximo permitido pela legislação nacional Direção do Serviço Nacional de Saúde das Pescas RD -057-2016-SANIPES-DE.

5 METODOLOGIA

Seguindo a metodologia citada por (GUIGUER, 2017) adaptada do documento “*Framework for Ecological Risk Assessment*” (U.S. EPA, 1992), o processo de avaliação de risco ecológico segue as seguintes etapas:

5.1 Formulação do problema

A Formulação do problema é desenvolvida nas seguintes fases:

5.1.1 Identificação das Substâncias Químicas de Interesse (SQI)

As diretrizes da ERSA (MINAM, 2015) indicam que os poluentes cujas concentrações estão acima dos valores de referência ecológica (para água, ar, solo, sedimentos, etc.) são considerados poluentes preocupantes, usando o UCL95. Numa primeira abordagem, são considerados os Padrões de Qualidade Ambiental estabelecidos pela legislação nacional, os quais também protegem os ecossistemas. Conservadoramente, as concentrações máximas detectadas em cada matriz foram comparadas com os padrões de qualidade ambiental.

5.1.1.1 Solo

Para a identificação da SQI no solo, foram utilizados os resultados das amostras dos Planos de Remediação do Solo (CH2MHILL, 2016) submetidos pela Pluspetrol ao Ministério de Energia e Mineração. As amostras foram coletadas em 518 pontos nos locais incluídos no PAC, no Campo Pavayacu, em três profundidades diferentes, correspondendo ao primeiro metro, segundo e terceiro metros de profundidade. Apenas amostras de superfície foram utilizadas, considerando a via de exposição dos receptores ecológicos. Também foram utilizados os resultados das amostras de solo incluídas no Relatório de Identificação de Locais Contaminados, preparado pelo OEFA, que contém 47 amostras no campo Pavayacu. Os valores máximos dos resultados analíticos foram comparados com os padrões de qualidade ambiental para solos de categoria de uso agrícola para a determinação das SQI. A categoria de Uso Agrícola inclui aquelas terras que mantêm um habitat para espécies

permanentes e transitória, além da flora e fauna nativas, como é o caso de áreas naturais protegidas A Tabela 5-1 apresenta os resultados e a seleção das SQI no solo. Para as SQI, o UCL95 foi calculado com o software estatístico ProUCL 5.1 (U.S. EPA, 2018) para aplicativos ambientais de conjuntos de dados com e sem observações não detectadas.

Tabela 5-1 - Identificação das Substâncias Químicas de Interesse para o solo

Parâmetro	Número de amostras	PQA Solo (mg/kg)	Detecções	Cmax (mg/kg)	UCL95 (mg/kg)	Cmax > PQA?
Compostos orgânicos						
F1 HC (C6-C10)	490	200	29	17	NC	Não
F2 HC (C10-C28)	490	1200	261	34268	2149	Sim
F3 HC (C28-C40)	490	3000	272	86927	49376	Sim
TPH (C10-C40)	490	ND	275	119235	6331	Sim
Benzeno	393	0,03	30	2,5	NC	Não
Tolueno	443	0,37	0	0	NC	Não
Etilbenzeno	443	0,082	2	0,24	NC	Não
Xileno	443	11	1	0,07	NC	Não
Benzo(a)Pireno	443	0,1	1	0,199	NC	Não
Naftaleno	346	0,1	0	0	NC	Não
Metais						
Arsênico (As)	490	50	59	94,7	1,577	Não
Bário (Ba)	490	750	487	9473,6	570,6	Sim
Cádmio (Cd)	486	1,4	28	228,4	3,475	Sim
Chumbo (Pb)	490	70	127	75	5,708	Sim
Crómio VI	393	0,4	30	2,5	0,182	Sim
Mercúrio (Hg)	397	6,6	375	20,19	0,691	Sim

PQA Solo: Padrões de Qualidade Ambiental para Solos de Uso Agrícola, aprovados pelo D.S.011-2017-MINAM. Ministério do Meio Ambiente, Peru.

Cmax: Concentração máxima

ND: Não detectado pelo método analítico

NC: UCL95 não calculado

Fonte: OEFA (2016) e CH2MHILL (2016)

Elaboração própria

Os parâmetros Fração 2 de hidrocarbonetos (C10-C28), Fração 3 de hidrocarbonetos (C28-C40), crômio VI, arsênico (As), bário (Ba), cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb) foram determinados como SQI para o solo.

5.1.1.2 Água superficial

Para a determinação das SQI nas águas superficiais, foi considerado o relatório da Autoridade Nacional de Água do Peru com os resultados do Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais e Sedimentos da Bacia do Rio Corrientes - Bloco 8 (ANA, 2013). Também foram considerados os resultados da amostragem de águas superficiais constantes no Relatório de Avaliação da Qualidade Ambiental do Bloco 8 (OEFA, 2015) e o dados da água superficial apresentados no plano de abandono do Bloco 8 (ERM, 2019) e amostras de água incluídas nos Planos de Remediação do Solo do Bloco 8 (CH2MHILL, 2016). As concentrações máximas obtidas foram comparadas com os padrões de qualidade ambiental da água, categorias da selva. A Tabela 5-2 apresenta as SQI para água superficial.

Tabela 5-2 - Identificação das Substâncias Químicas de Interesse para a água superficial

Parâmetro	Unidade	PQA Água	Número de amostra s	Cmax	UCL95	Cmax > PQA?
Óleos e gorduras	mg/L	5	29	3,5	NC	Não
Cianeto livre	mg/L	0,0052	9	ND	NC	Não
Fenóis	mg/L	2,56	21	0,002	NC	Não
Nitratos (NO ₃)	mg/L	13	1	ND	NC	Não
Sulfuretos	mg/L	0,002	18	0,002	NC	Não
Antimônio	mg/L	0,64	23	0,0013	NC	Não
Arsênico	mg/L	0,15	26	0,0004	NC	Não
Bário	mg/L	1	29	0,717	NC	Não
Cádmio dissolvido	mg/L	0,00025	15	ND	NC	Não
Cobre	mg/L	0,1	26	0,0037	NC	Não
Crômio VI	mg/L	0,011	21	ND	NC	Não
Mercúrio	mg/L	0,0001	26	ND	NC	Não
Níquel	mg/L	0,052	26	0,0018	NC	Não
Chumbo	mg/L	0,0025	29	0,0057	0,00172	Sim
Selênio	mg/L	0,005	26	ND	NC	Não
Tálio	mg/L	0,0008	18	0,00034	NC	Não
Zinco	mg/L	0,12	26	1,358	0,464	Sim
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	5	ND	NC	Não
Antraceno	mg/L	0,0004	5	ND	NC	Não
Fluoranteno	mg/L	0,001	5	ND	NC	Não
Hidrocarbonetos totais de petróleo	mg/L	0,5	23	ND	NC	Não

PQA Água: Padrões de Qualidade Ambiental para Água, Categoria 4: Conservação do meio aquático, subcategoria E2: Rios da selva, aprovados pelo D.S.004-2017-MINAM. Ministério do Meio Ambiente, Peru.

Cmax: Concentração máxima

ND: Não detectado pelo método analítico

NC: UCL95 não calculado

Fonte: ANA (2013), OEFA (2015), CH2MHILL (2016) e ERM (2019)

Elaboração própria

Os parâmetros chumbo e zinco foram determinados como SQI para a água superficial.

A Figura 2 apresenta a localização das amostras de solo coletadas pelo CH2M e pelo OEFA, as amostras de água coletadas pela ANA, CH2M e ERM e os pontos da avaliação hidrobiológica do plano de abandono e da avaliação de OEFA.

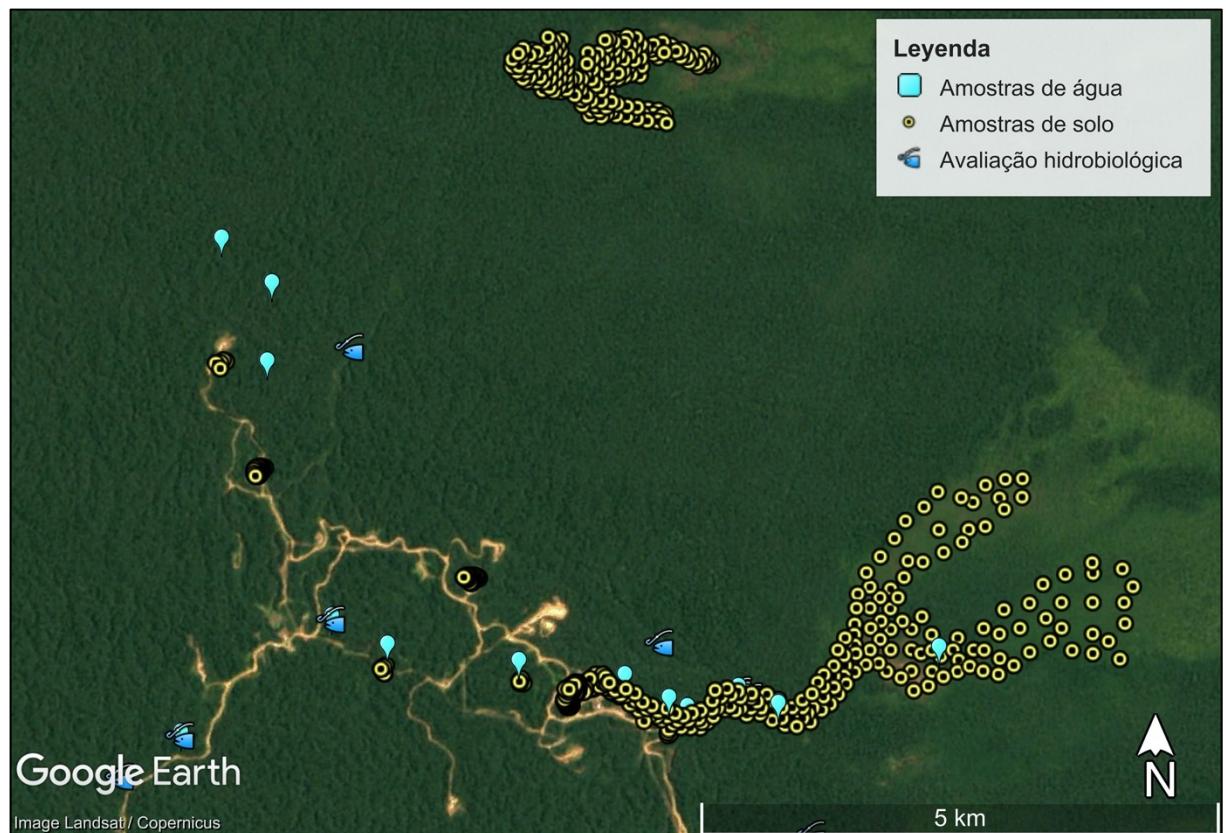


Figura 2. Localização das amostras de solo e água

Fonte: Elaboração própria

5.1.2 Transporte e Destino das SQIs

Conforme indicado na seção 3.2, as fontes de contaminação são históricas e estão ligadas a derrames superficiais de petróleo e principalmente à descarga de águas de produção, entre os anos de 1971 a 2006. Os derrames são limitados a áreas definidas ao redor das plataformas. A descarga das águas de produção no córrego Petroboa (tributário de Huanganayacu) tinha direção para o rio Tigre. No entanto, a baixa inclinação e a baixa drenagem geraram extensas áreas impactadas pela produção de água, principalmente buritizais.

5.1.3 Identificação dos Receptores Ecológicos Relevantes

De acordo com o Guia de Avaliação de Riscos para a Saúde e Ambientais: (MINAM, 2015), os receptores relevantes escolhidos para a avaliação de riscos ecológicos, são espécies com interesse ecológico ou econômico, ou que está classificada com algum status de proteção pela legislação peruana e, portanto, deve conhecer sua vulnerabilidade aos efeitos de um poluente. São vários os critérios que permitem a identificação de grupos de receptores de especial importância, tendo em conta o nível a que se realiza a análise. Esses critérios incluem o seguinte:

Relevância ecológica, ou seja, a posição-chave que o receptor ocupa na estrutura e função do ecossistema. A relevância ecológica está relacionada a aspectos como abundância e dominância, o grau de diversidade biológica e a taxa de renovação.

Potencial de exposição. Receptores com alto potencial de exposição são aqueles que devido ao seu metabolismo, hábitos alimentares, localização ou estratégia reprodutiva são mais sensíveis ou podem sofrer maior grau de exposição aos poluentes.

Vulnerabilidade. Receptores altamente suscetíveis tendem a ser pouco tolerantes a compostos tóxicos. Em geral, os organismos estenóicos (com pequena margem de aclimatação às mudanças das condições do ambiente) ou com requisitos estritos de habitat ou tipo de alimentação, apresentam maior vulnerabilidade.

Importância econômica e social. A seleção de um receptor biológico também pode ser baseada em critérios econômicos ou sociais (por exemplo, espécies

de caça). Para esses receptores, os parâmetros mais importantes estariam relacionados à sobrevivência, produtividade e sucesso reprodutivo.

A seguir são apresentados os receptores relevantes terrestres e aquáticos:

5.1.3.1 *Plantas Terrestres*

Existem espécies de plantas protegidas pela legislação peruana, não obstante estão amplamente distribuídas na floresta amazônica. Devido à importância das plantas como base da cadeia trófica terrestre, elas são consideradas espécies de interesse para a avaliação de risco ecológico. Por exemplo, de acordo com os hábitos alimentares revisados, o buriti é uma fruta de grande importância na cadeia alimentar.

5.1.3.2 *Invertebrados Terrestres*

Nenhuma espécie de invertebrados terrestres foi determinada em qualquer categoria de proteção, endemismo ou interesse econômico na área de estudo. Não obstante, os invertebrados fazem parte da base da cadeia trófica e desempenham uma função muito relevante para o ecossistema e por entanto são considerados espécies de interesse para a avaliação de risco ecológico.

5.1.3.3 *Mamíferos e Aves terrestres relevantes*

No Peru, as categorias incluídas na legislação (MINAGRI, 2014) são: Criticamente em Perigo (CR), Em Perigo (EN), Vulnerável (VU); Quase Ameaçada (NT) e Dados Insuficientes.

De acordo com os critérios definidos pela legislação peruana, das espécies descritas nos estudos disponíveis sobre a ecologia do campo de Pavayacu e do Bloco 8, apresentadas na seção *Ecologia Regional*, existem oito espécies com algum nível de vulnerabilidade. Além disso, existem outras três espécies consideradas vulneráveis pela IUCN. A Tabela 5-3 e a Tabela 5-4 apresentam as categorias de proteção dos receptores ecológicos terrestres relevantes:

Tabela 5-3 - Categorias de proteção dos Receptores Ecológicos terrestres Relevantes - Mamíferos

Nome científico	Nome comum	Cat. MINAGRI	Cat. UICN	Cat. CITES	Nível trófico
<i>Atelocynus microtis</i>	Cachorro-do-mato-de-orelhas-curtas	VU	NT	--	Carnívoro
<i>Priodontes maximus</i>	tatu-canastra / tatuáçu	VU	VU	Apêndice I	Insectívoro
<i>Panthera onca</i>	Onça-pintada	NT	NT	Apêndice I	Carnívoro
<i>Puma concolor</i>	Onça-parda	NT	LC	Apêndice I	Carnívoro
<i>Tapirus terrestris</i>	Anta	NT	VU	Apêndice II	Frugívoro/Herbívoro
<i>Dasyprocta fuliginosa</i>	Agouti	DD	LC	--	Herbívoro
<i>Mazama americana</i>	Veado-mateiro	DD	DD	--	Herbívoro

Tabela 5-4 - Categorias de proteção dos Receptores Ecológicos terrestres Relevantes - Aves

Nome científico	Nome comum	Cat. MINAGRI	Cat. UICN	Cat. CITES	Nível trófico
<i>Ara chloropterus</i>	Arara-vermelha	NT	LC	--	Frugívoro
<i>Patagioenas subvinacea</i>	Pomba-botafogo	--	VU	Apêndice I	Frugívoro
<i>Ramphastos tucanus</i>	Tucano-de-peito-branco	--	VU	Apêndice II	Frugívoro
<i>Ramphastos vitellinus</i>	Tucano-de-bico-preto	--	VU	Apêndice II	Frugívoro

Cat. MINAGRI: Decreto Supremo Nº 004-2014-MINAGRI, que aprova a atualização da lista de classificação e categorização de espécies ameaçadas de vida selvagem legalmente protegida (MINAGRI, 2014)

Cat. UICN: Lista de espécies ameaçadas da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2020)

Cat. CITES

De acordo com as avaliações das diferentes espécies, foram definidos os seguintes receptores ecológicos relevantes:

5.1.3.3.1 Mamíferos

Cachorro-do-mato-de-orelhas-curtas (*Atelocynus microtis*), é considerado Vulnerável (VU) pela legislação peruana, e é um carnívoro cuja dieta consiste de pequenos (roedores) a médios (paca) mamíferos, peixes, moluscos, frutos, insetos, e aves e devido ao seu lugar na cadeia alimentar é uma espécie importante e exposta a contaminantes.

Tatuaçu (*Priodontes maximus*), é considerado Vulnerável (VU) pela legislação peruana. Tem uma dieta muito específica e, portanto, vulnerável. Além

disso, por se alimentar principalmente de insetos, pode significar um maior consumo de solo e, portanto, maior exposição.

Anta (*Tapirus terrestris*): É uma espécie considerada quase ameaçada (NT) pela legislação peruana. É principalmente frugívoro, alimentando-se principalmente de buritis.

Veado-mateiro (*Mazama americana*). É uma espécie classificada como dados insuficientes (DD) pela legislação peruana. No entanto, tem um papel particular na cadeia alimentar, visto que é um herbívoro e principal fonte de alimento, juntamente com a anta, de predadores como a onça pintada. Assim, também pode ser considerada uma espécie de interesse para o consumo humano (espécie de caça).

Onça-pintada (*Panthera onca*). É uma espécie considerada quase ameaçada (NT) pela legislação peruana. Dentro da cadeia trófica, é a espécie predatória, alimentando-se principalmente de antas e veados.

Agouti (*Dasyprocta fuliginosa*). É uma espécie classificada como dados insuficientes (DD) pela legislação peruana. É um pequeno mamífero, principal fonte de alimento para o Cachorro-do-mato-de-orelhas-curtas.

5.1.3.3.2 Aves

Arara-vermelha (*Ara chloropterus*). É uma espécie considerada quase ameaçada (NT) pela legislação peruana. Sua alimentação é baseada em sementes, frutas e coquinhos.

5.1.3.4 Recetores Ecológicos Aquáticos Relevantes

Nenhuma espécie aquática foi identificada em nenhuma categoria de ameaça incluída na legislação peruana. Nem foram identificadas espécies de interesse econômico ou alimentar. As concentrações de metais no tecido de peixes nos pontos amostrados em Pavayacu foram encontradas abaixo da legislação de referência (RD-057- 2016-SANIPES-DE).

5.1.4 Identificação das Rotas de Exposição

Para os receptores terrestres, a ingestão através da cadeia alimentar incluindo ingestão de solo, e a ingestão de água são consideradas rotas de exposição. As rotas de exposição relacionadas ao contato dérmico não são consideradas

relevantes, dada a cobertura das espécies por pelos ou penas, bem como a inalação, uma vez que compostos voláteis não foram identificados como substâncias químicas de interesse. Inalação de partículas poderia ocorrer mas não pode ser estimada.

Conforme indicado na seção 4.4.7, não foram identificadas espécies aquáticas críticas. Por outro lado, os produtos químicos de interesse determinados na água foram zinco e chumbo. Esses elementos foram analisados em tecidos de peixes, e os valores estão abaixo da legislação peruana, e portanto, as rotas de exposição a organismos aquáticos não foram avaliadas. A importância dessas concentrações é tomada na avaliação da exposição da cadeia alimentar terrestre. A Figura 3 apresenta as rotas de exposição dos contaminantes para as espécies de interesse.

5.1.5 Elaboração do Modelo Conceitual de Exposição

A Figura 4 apresenta o Modelo Conceitual da exposição:

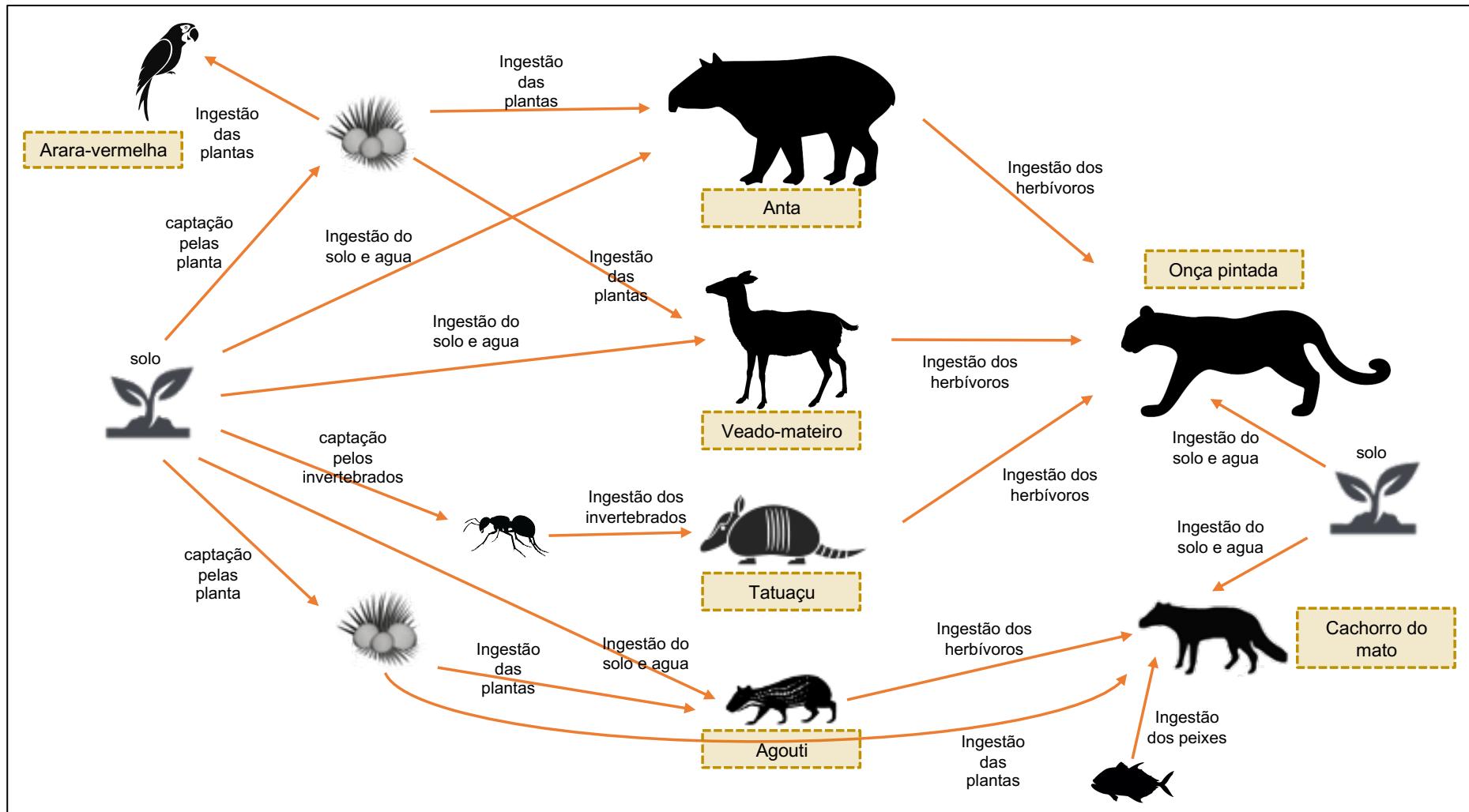


Figura 3. Identificação das Rotas de Exposição

Fonte: Elaboração própria.

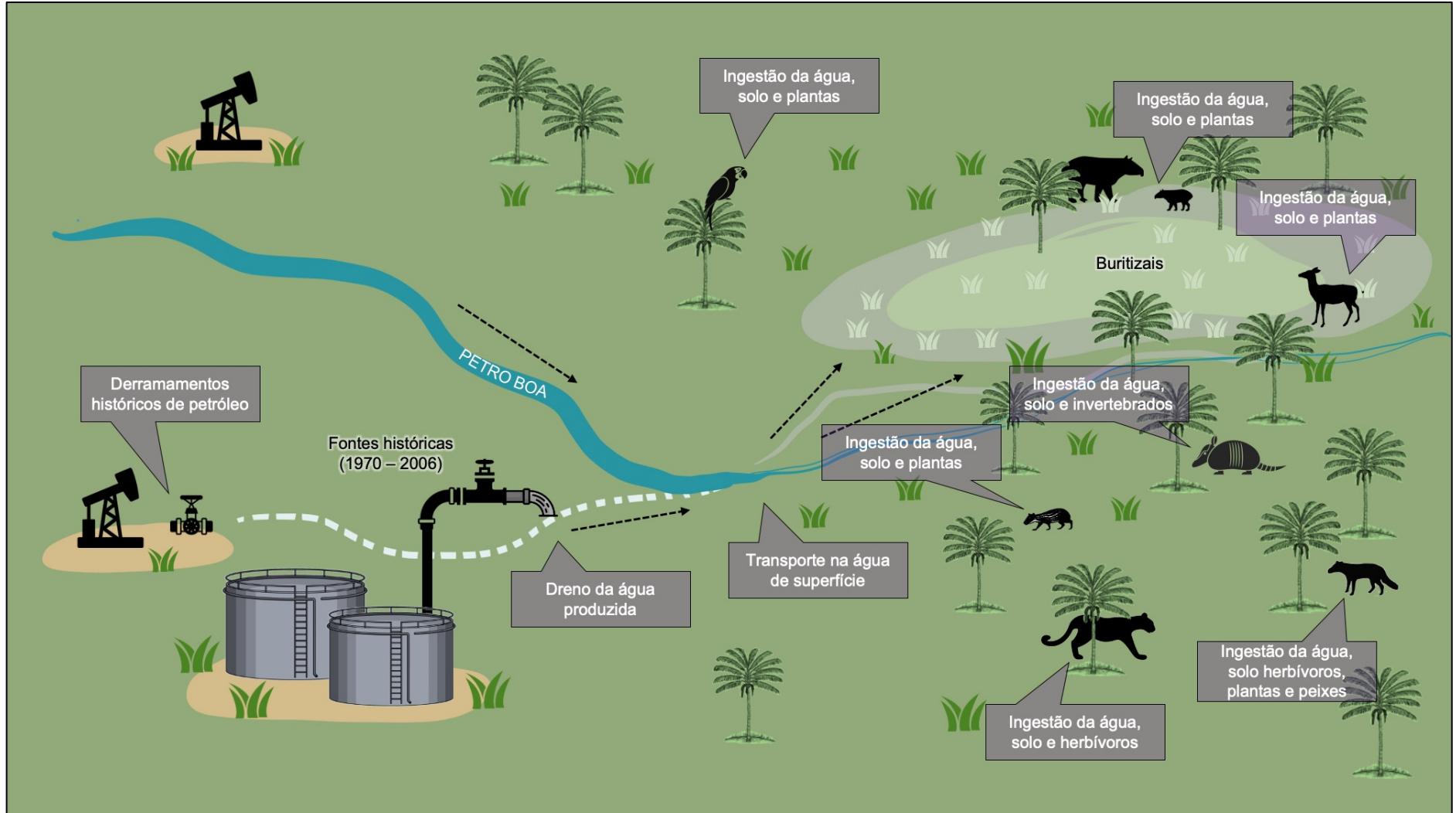


Figura 4. Modelo Conceitual do Área

Fonte: Elaboração própria.

5.2 Caracterização da exposição

Para quantificar a exposição das SQI às espécies selecionadas, é necessário estimar as concentrações nos meios (solo e água) e as concentrações nos componentes da cadeia trófica (plantas, invertebrados, e animais vertebrados consumidos por outros animais).

Foram utilizados valores de fatores de bioconcentração (U.S. EPA, 1999) do solo para invertebrados, do solo para as plantas para estimar as concentrações das SQIs em plantas terrestres e invertebrados do solo. As seguintes fórmulas foram usadas:

$$C_{Plantas} = C_{Solo} \times FBCP$$

Onde:

$C_{Plantas}$ = Concentração na planta (mg/kg)

C_{Solo} = Concentração no solo (mg/kg)

FBCP = Fator de Bioconcentração para Plantas

$$C_{Invertebrados} = C_{Solo} \times FBCI$$

Onde:

$C_{Invertebrados}$ = Concentração nos invertebrados (mg/kg)

C_{Solo} = Concentração no solo (mg/kg)

FBCI = Fator de Bioconcentração para os invertebrados

Para estimar as concentrações das SQIs das plantas e dos invertebrados terrestres, foram usados os fatores de referência da bioconcentração (FBC) do Protocolo de Avaliação de Risco Ecológico Preliminar (Screening) para Instalações de Combustão de Resíduos Perigosos (U.S. EPA, 1999). A Tabela 5-5 apresenta os valores obtidos das concentrações das sustâncias químicas de interesse para as plantas e os invertebrados do solo:

Tabela 5-5. Concentração de plantas e invertebrados do solo

SQI	C _{solo} (mg/kg)	C _{água} (mg/l)	FBC _{S-Planta}	C _{planta} (mg/kg)	FBC _{S-invert.}	C _{invertebrado} (mg/kg)	C _{peixes} (mg/kg)
F2 (C10-C28)	2,15E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
F3 (C28-C40)	4,94E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TPH (C10-C40)	6,33E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Arsênico (As)	1,58E+00	0,00E+00	3,60E-02	5,68E-02	1,10E-01	1,73E-01	0,00E+00
Bário (Ba)	5,71E+02	0,00E+00	1,50E-01	8,56E+01	2,20E-01	1,26E+02	1,36E+01
Cádmio (Cd)	3,48E+00	0,00E+00	3,64E-01	1,26E+00	9,60E-01	3,34E+00	5,49E-02
Chumbo (Pb)	5,71E+00	1,72E-03	4,50E-02	2,57E-01	3,00E-02	1,71E-01	0,00E+00
Crómio VI	1,82E-01	0,00E+00	3,30E-01	6,01E-02	1,00E-02	1,82E-03	0,00E+00
Mercúrio (Hg)	6,91E-01	0,00E+00	3,75E-02	2,59E-02	4,00E-02	2,76E-02	6,77E-02
Zinco (Zn)	0,00E+00	4,64E-01	1,20E-12	0,00E+00	5,60E-01	0,00E+00	1,33E+01

Para estimar as concentrações das SQIs nos animais ingeridos, foram usados os fatores de referência da bioconcentração (FBC) das plantas, da água e do solo para os animais herbívoros (mamíferos e aves). Estes valores foram escolhidos do Protocolo de Avaliação de Risco Ecológico Preliminar (Screening) para Instalações de Combustão de Resíduos Perigosos (U.S. EPA, 1999), considerando a similaridade com as espécies testadas incluídas naquele documento (nível trófico e hábitos alimentares). Fatores de bioconcentração para hidrocarbonetos não foram disponíveis nos estudos ou não puderam ser determinados. Ao contrário dos compostos inorgânicos, os hidrocarbonetos podem sofrer certas alterações que dificultam a estimativa desses fatores. Da mesma forma, para o caso particular da área de estudo, quando se trata de hidrocarbonetos intemperizados, a bioacumulação tem baixa probabilidade. As concentrações de metais nos peixes foram obtidas das análises contidas no Plano de Abandono do Bloco 8 (ERM, 2019). As concentrações na cadeia alimentar foram calculadas para crômio VI, arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), mercúrio (Hg), chumbo (Pb) e zinco (Zn).

O cálculo para estimar a concentração nos animais ingeridos (AI) foi realizado com a seguinte equação:

$$C_{AI} = (C_P \times FBC_{P-AI} \times F_P \times P_P) + (C_S \times FBC_{S-AI} \times P_S) + (C_A \times FBC_{A-AI} \times P_A)$$

Onde:

C_{AI} = Concentração da SQI no animal ingerido (mg/kg WW)

C_P = Concentração da SQI nas plantas (mg/kg WW);

FBC_{P-AI} = Fator de bioconcentração da planta para o animal ingerido

F_P = Fração da dieta constituída de plantas terrestres (pode variar entre 0 ou 100%);

P_P = Proporção das plantas na dieta que é contaminada (pode variar entre 0 ou 100%);

C_s = Concentração da SQI no solo (mg/kg DW solo);

FBC_{S-AI} = Fator de bioconcentração do solo para o animal ingerido

P_S = Proporção do solo ingerido que é contaminado (pode variar entre 0 ou 100%);

C_A = Concentração da SQI na água (mg/l);

FBC_{A-AI} = Fator de bioconcentração da água para o animal ingerido

P_A = Proporção da água ingerido que é contaminado (pode variar entre 0 e 100%);

Os resultados das concentrações dos animais ingeridos são mostrados na Tabela 5-6, Tabela 5-7, Tabela 5-8, Tabela 5-9 e Tabela 5-10.

Para calcular a exposição, vários parâmetros também foram necessários para cada espécie, como peso corpóreo (kg), taxa diária de ingestão de alimentos (kg/dia), composição da dieta, taxa de solo na dieta (%), taxa diária de ingestão de solo (kg/dia) e água (l/dia), área habitada pelo animal (ha), fração de área habitada em relação a área do estudo e taxa diária de ingestão de água (l/dia). Esses parâmetros específicos são mostrados na Tabela 5-11.

Tabela 5-6. Concentrações na ave (alimento do carnívoro)

SQI	FBC _{P-Wildlife}	FBC _{A-Wildlife}	FBC _{S-Wildlife}	F _P	P _P	P _S	P _A	C _{ave} (mg/kg)
F2 (C10-C28)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
F3 (C28-C40)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
TPH (C10-C40)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
Arsênico (As)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
Bário (Ba)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
Cádmio (Cd)	3,70E-02	1,16E-02	7,43E-04	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	4,94E-02
Chumbo (Pb)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
Crómio VI	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
Mercúrio (Hg)	1,25E-03	3,90E-04	2,51E-05	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	4,98E-05
Zinco (Zn)	3,05E-03	9,57E-04	6,13E-05	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	4,44E-04

ND = não determinado

Tabela 5-7. Concentrações na anta

SQI	FBC _{P-Wildlife}	FBC _{A-Wildlife}	FBC _{S-Wildlife}	F _P	P _P	P _S	P _A	C _{Anta} (mg/kg)
F2 (C10-C28)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
F3 (C28-C40)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
TPH (C10-C40)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
Arsênico (As)	1,24E-03	3,02E-04	2,73E-05	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,14E-04
Bário (Ba)	9,30E-05	2,26E-05	2,05E-06	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,15E-03
Cádmio (Cd)	3,70E-02	1,16E-02	7,43E-04	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	4,94E-02
Chumbo (Pb)	1,86E-04	4,53E-05	4,09E-06	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	7,12E-05
Crómio VI	3,41E-03	8,30E-04	7,50E-05	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	2,19E-04
Mercúrio (Hg)	1,25E-03	3,90E-04	2,51E-05	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	4,98E-05
Zinco (Zn)	3,05E-03	9,57E-04	6,13E-05	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	4,44E-04

ND = não determinado

Tabela 5-8. Concentrações na Veado-mateiro

SQI	FBC _{P-Wildlife}	FBC _{A-Wildlife}	FBC _{S-Wildlife}	F _P	P _P	P _S	P _A	C _{Veado-mateiro (mg/kg)}
F2 (C10-C28)	ND	ND	ND	8,00E-01	5,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	ND
F3 (C28-C40)	ND	ND	ND	8,00E-01	5,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	ND
TPH (C10-C40)	ND	ND	ND	8,00E-01	5,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	ND
Arsênico (As)	1,24E-03	3,02E-04	2,73E-05	8,00E-01	5,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	7,13E-05
Bário (Ba)	9,30E-05	2,26E-05	2,05E-06	8,00E-01	5,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	4,37E-03
Cádmio (Cd)	3,70E-02	1,16E-02	7,43E-04	8,00E-01	5,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	2,13E-02
Chumbo (Pb)	1,86E-04	4,53E-05	4,09E-06	8,00E-01	5,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	4,25E-05
Crómio VI	3,41E-03	8,30E-04	7,50E-05	8,00E-01	5,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	9,64E-05
Mercúrio (Hg)	1,25E-03	3,90E-04	2,51E-05	8,00E-01	5,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	3,03E-05
Zinco (Zn)	3,05E-03	9,57E-04	6,13E-05	8,00E-01	5,00E-01	1,00E+00	1,00E+00	4,44E-04

ND = não determinado

Tabela 5-9. Concentrações na Tatuaçu

SQI	FBC _{P-Wildlife}	FBC _{A-Wildlife}	FBC _{S-Wildlife}	F _P	P _P	P _S	P _A	C _{Tatuaçu (mg/kg)}
F2 (C10-C28)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
F3 (C28-C40)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
TPH (C10-C40)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
Arsênico (As)	1,24E-03	3,01E-04	2,73E-05	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,14E-04
Bário (Ba)	9,30E-05	2,26E-05	2,05E-06	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,15E-03
Cádmio (Cd)	7,44E-05	1,81E-05	1,64E-06	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,98E-05
Chumbo (Pb)	1,86E-04	4,52E-05	4,09E-06	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	7,12E-05
Crómio VI	3,41E-03	8,29E-04	7,50E-05	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	2,19E-04
Mercúrio (Hg)	4,84E-04	1,18E-04	1,06E-05	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,99E-05
Zinco (Zn)	5,58E-05	1,36E-05	1,23E-06	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	6,31E-06

ND = não determinado

Tabela 5-10. Concentrações na Agouti

SQI	FBC_{P-Wildlife}	FBC_{A-Wildlife}	FBC_{S-Wildlife}	F_P	P_P	P_S	P_A	C_{Tatuçu} (mg/kg)
F2 (C10-C28)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
F3 (C28-C40)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
TPH (C10-C40)	ND	ND	ND	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	ND
Arsênico (As)	1,20E-03	3,02E-04	2,88E-06	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	7,28E-05
Bário (Ba)	8,99E-05	2,26E-05	2,16E-07	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	7,83E-03
Cádmio (Cd)	7,19E-05	1,81E-05	1,73E-07	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	9,15E-05
Chumbo (Pb)	1,80E-04	4,53E-05	4,32E-07	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	4,88E-05
Crómio VI	3,30E-03	8,30E-04	7,91E-06	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	2,00E-04
Mercúrio (Hg)	4,68E-04	1,18E-04	1,12E-06	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,29E-05
Zinco (Zn)	5,39E-05	1,36E-05	1,29E-07	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	1,00E+00	6,31E-06

ND = não determinado

Tabela 5-11. Parâmetros animais

Parâmetros	Cachorro-do-mato-de-orelhas-curtas <i>Atelocynus microtis</i>		Onça-pintada <i>Panthera onca</i>		Arara-vermelha <i>Ara chloropterus</i>		Anta <i>Tapirus terrestris</i>		Veado-mateiro <i>Mazama americana</i>		Agouti <i>Dasyprocta fuliginosa</i>		Tatuáçu <i>Priodontes maximus</i>	
	Valor	Fonte	Valor	Fonte	Valor	Fonte	Valor	Fonte	Valor	Fonte	Valor	Fonte	Valor	Fonte
Peso Corpóreo (kg)	9,5	(2)	75,5		1,5		150	(4)	21		3,5		30	(5)
Taxa diária de Ingestão de Alimentos (kg/dia)	1,37E+00	(1)	3,15E+00	(1)	4,75E-01	(1)	1,08E+01	(1)	1,15E+00	(1)	5,16E-01	(1)	3,52E+00	(1)
Composição da dieta	Consiste de pequenos (roedores) a médios (paca) mamíferos, peixes, moluscos, frutos, insetos, aves e répteis	(2)	Principalmente anta (40%), veado-mateiro (40%) e tatuáçu (20%)		Gosta de se alimentar do fruto do buriti e coquinhos		33% de frutas e 66% de folhas e fibras	(4)	Alimenta-se de frutas, sementes, fungos, flores e brotos, podendo utilizar-se de folhas e gramíneas quando os frutos tornam-se escassos		A paca é um animal notívago e sua dieta é a base de frutas, folhas, sementes e raízes		Revolvendo o solo, consegue alimento entre insetos, larvas, vermes, aranhas e cobras. Se alimenta principalmente de formigas e cupins.	
Fração de plantas na dieta	16%	(2)	0		100%		100%		100%		100%		20%	
Fração de invertebrados na dieta	21%	(2)	0		0%		0%		0%		0%		80%	
Fração de mamíferos na dieta	16%	(2)	100%		0%		0%		0%		0%		0%	
Fração de aves na dieta	13%	(2)	0%		0%		0%		0%		0%		0%	
Fração de peixes na dieta	34%	(2)	0%		0%		0%		0%		0%		0%	
Taxa de solo na dieta (%)	2,8%	(3)	2,8%		8,2%		2,8%		2,8%		2,8%		9,4%	
Taxa diária de Ingestão de solo (kg/dia)	3,83E-02	c	8,82E-02		3,90E-02		3,01E-01		3,22E-02		1,45E-02		3,31E-01	
Fração de área habitada em relação a área do estudo	0,3		0,3		0,3		0,4		0,3		0,5		0,1	
Taxa diária de Ingestão de agua (L/dia)	7,51E-01	(6)	4,85E+00	(6)	7,74E-02	(6)	9,00E+00	(6)	1,53E+00	(6)	3,06E-01	(6)	2,11E+00	(6)

- (1) Zapater, 2016
- (2) Leite, 2004
- (3) Wildlife Exposure Factors Handbook
- (4) Bodmer, 1989
- (5) Trujillo, 2013. Armadillos de los llanos
- (6) Screening Level Ecological Risk Assessment Protocol

c: calculado

A exposição é determinada pela dose de ingestão, inalação e contato dérmico. Conforme indicado na seção 5.1.4, a inalação e contato dérmico não são considerados, portanto a exposição será definida pela dose de ingestão do SQI através do solo, água e alimentos (sejam plantas e / ou animais ingeridos) .

Portanto, a exposição é definida pela seguinte equação:

$$E_{Ingestao} = \frac{(C_{al} \times Ti_{alimento} \times P_{al} \times F_{al}) + (C_{ág} \times Ti_{ág} \times F_{pa}) + (C_s \times Ti_s \times F_{pa})}{peso\ corpóreo}$$

Onde:

C_{AI} = Concentração da SQI no animal ingerido (mg/kg WW)

$Ti_{alimento}$ = Taxa de ingestão de alimento (plantas ou animais ingeridos)

P_{al} = Proporção do alimento na dieta

F_{al} = Fracção da alimento contaminado

$C_{ág}$ = Concentração da SQI na agua

$Ti_{ág}$ = Taxa de ingestão da agua

$F_{ág}$ = Fracção da agua contaminado

C_s = Concentração da SQI no solo

Ti_s = Taxa de ingestão do solo

F_s = Fracção do solo contaminado

As doses de exposição são mostradas na Tabela 5-12, Tabela 5-13, Tabela 5-14, Tabela 5-15, Tabela 5-16, Tabela 5-17, Tabela 5-18. Pode-se verificar no cálculo das doses de exposição, no caso dos hidrocarbonetos, a dose de exposição é dada apenas pela ingestão de solo e água, pois não foram disponibilizados valores de bioconcentração para o cálculo da ingestão de hidrocarbonetos. através de plantas ou animais ingeridos.

Tabela 5-12. Dose da Exposição - Cachorro-do-mato-de-orelhas-curtas

SQI	$E_{ing\text{-alimento}}$	$E_{ing\text{-água}}$	$E_{ing\text{-solo}}$	$E_{ing\text{-total}}$	Dose (mg/kg-BW/dia)
F2 (C10-C28)	ND	ND	2,47E+01	2,47E+01	2,60E+00
F3 (C28-C40)	ND	ND	5,67E+02	5,67E+02	5,97E+01
TPH (C10-C40)	ND	4,51E-03	7,27E+01	7,27E+01	7,65E+00
Arsênico (As)	1,87E-02	9,01E-05	1,81E-02	3,69E-02	3,88E-03
Bário (Ba)	1,83E+01	1,62E-01	6,55E+00	2,50E+01	2,63E+00
Cádmio (Cd)	3,80E-01	3,38E-06	3,99E-02	4,20E-01	4,42E-02
Chumbo (Pb)	3,16E-02	3,87E-04	6,55E-02	9,75E-02	1,03E-02
Crómio VI	4,11E-03	2,25E-04	2,09E-03	6,42E-03	6,76E-04
Mercúrio (Hg)	1,35E-02	1,13E-05	7,93E-03	2,15E-02	2,26E-03
Zinco (Zn)	1,86E+00	1,05E-01	ND	1,96E+00	2,06E-01

ND = não determinado

Tabela 5-13. Dose da Exposição - Onça-pintada

SQI	$E_{ing\text{-alimento}}$	$E_{ing\text{-água}}$	$E_{ing\text{-solo}}$	$E_{ing\text{-total}}$	Dose (mg/kg-BW/dia)
F2 (C10-C28)	ND	ND	5,69E+01	5,69E+01	5,99E+00
F3 (C28-C40)	ND	ND	1,31E+03	1,31E+03	1,38E+02
TPH (C10-C40)	ND	2,91E-02	1,68E+02	1,68E+02	1,76E+01
Arsênico (As)	9,14E-05	5,82E-04	4,17E-02	4,24E-02	4,46E-03
Bário (Ba)	6,84E-03	1,04E+00	1,51E+01	1,61E+01	1,70E+00
Cádmio (Cd)	2,67E-02	2,18E-05	9,19E-02	1,19E-01	1,25E-02
Chumbo (Pb)	5,64E-05	2,50E-03	1,51E-01	1,54E-01	1,62E-02
Crómio VI	1,61E-04	1,46E-03	4,82E-03	6,43E-03	6,77E-04
Mercúrio (Hg)	3,40E-05	7,28E-05	1,83E-02	1,84E-02	1,94E-03
Zinco (Zn)	3,37E-04	6,75E-01	ND	6,76E-01	7,11E-02

ND = não determinado

Tabela 5-14. Dose da Exposição - Arara-vermelha

SQI	$E_{ing\text{-alimento}}$	$E_{ing\text{-água}}$	$E_{ing\text{-solo}}$	$E_{ing\text{-total}}$	Dose (mg/kg-BW/dia)
F2 (C10-C28)	ND	ND	2,51E+01	2,51E+01	2,64E+00
F3 (C28-C40)	ND	ND	5,77E+02	5,77E+02	6,07E+01
TPH (C10-C40)	ND	4,64E-04	7,40E+01	7,40E+01	7,79E+00
Arsênico (As)	8,09E-03	9,29E-06	1,84E-02	2,65E-02	2,79E-03
Bário (Ba)	1,22E+01	1,67E-02	6,67E+00	1,89E+01	1,99E+00
Cádmio (Cd)	1,80E-01	3,48E-07	4,06E-02	2,21E-01	2,32E-02
Chumbo (Pb)	3,66E-02	3,99E-05	6,67E-02	1,03E-01	1,09E-02
Crómio VI	8,56E-03	2,32E-05	2,13E-03	1,07E-02	1,13E-03
Mercúrio (Hg)	3,69E-03	1,16E-06	8,07E-03	1,18E-02	1,24E-03
Zinco (Zn)	ND	1,08E-02	ND	1,08E-02	1,13E-03

ND = não determinado

Tabela 5-15. Dose da Exposição - Anta

SQI	E_{ing-alimento}	E_{ing-água}	E_{ing-solo}	E_{ing-total}	Dose (mg/kg-BW/dia)
F2 (C10-C28)	ND	ND	2,59E+02	2,59E+02	2,72E+01
F3 (C28-C40)	ND	ND	5,94E+03	5,94E+03	6,26E+02
TPH (C10-C40)	ND	7,20E-02	7,62E+02	7,62E+02	8,02E+01
Arsênico (As)	2,44E-01	1,44E-03	1,90E-01	4,35E-01	4,58E-02
Bário (Ba)	3,68E+02	2,58E+00	6,87E+01	4,39E+02	4,62E+01
Cádmio (Cd)	5,44E+00	5,40E-05	4,18E-01	5,86E+00	6,17E-01
Chumbo (Pb)	1,10E+00	6,19E-03	6,87E-01	1,80E+00	1,89E-01
Crómio VI	2,58E-01	3,60E-03	2,19E-02	2,84E-01	2,99E-02
Mercúrio (Hg)	1,11E-01	1,80E-04	8,32E-02	1,95E-01	2,05E-02
Zinco (Zn)	ND	1,67E+00	ND	1,67E+00	1,76E-01

ND = não determinado

Tabela 5-16. Dose da Exposição - Veado-mateiro

SQI	E_{ing-alimento}	E_{ing-água}	E_{ing-solo}	E_{ing-total}	Dose (mg/kg-BW/dia)
F2 (C10-C28)	ND	ND	2,08E+01	2,08E+01	2,19E+00
F3 (C28-C40)	ND	ND	4,77E+02	4,77E+02	5,02E+01
TPH (C10-C40)	ND	9,20E-03	6,12E+01	6,12E+01	6,44E+00
Arsênico (As)	1,96E-02	1,84E-04	1,52E-02	3,50E-02	3,68E-03
Bário (Ba)	2,95E+01	3,30E-01	5,51E+00	3,54E+01	3,72E+00
Cádmio (Cd)	4,36E-01	6,90E-06	3,36E-02	4,70E-01	4,95E-02
Chumbo (Pb)	8,86E-02	7,91E-04	5,51E-02	1,45E-01	1,52E-02
Crómio VI	2,07E-02	4,60E-04	1,76E-03	2,29E-02	2,41E-03
Mercúrio (Hg)	8,94E-03	2,30E-05	6,68E-03	1,56E-02	1,65E-03
Zinco (Zn)	ND	2,13E-01	ND	2,13E-01	2,25E-02

ND = não determinado

Tabela 5-17. Dose da Exposição - Agouti

SQI	E_{ing-alimento}	E_{ing-água}	E_{ing-solo}	E_{ing-total}	Dose (mg/kg-BW/dia)
F2 (C10-C28)	ND	ND	1,55E+01	1,55E+01	1,63E+00
F3 (C28-C40)	ND	ND	3,57E+02	3,57E+02	3,76E+01
TPH (C10-C40)	ND	3,06E-03	4,57E+01	4,58E+01	4,82E+00
Arsênico (As)	1,47E-02	6,11E-05	1,14E-02	2,61E-02	2,75E-03
Bário (Ba)	2,21E+01	1,10E-01	4,12E+00	2,63E+01	2,77E+00
Cádmio (Cd)	3,26E-01	2,29E-06	2,51E-02	3,52E-01	3,70E-02
Chumbo (Pb)	6,63E-02	2,63E-04	4,12E-02	1,08E-01	1,13E-02
Crómio VI	1,55E-02	1,53E-04	1,32E-03	1,70E-02	1,79E-03
Mercúrio (Hg)	6,69E-03	7,64E-06	4,99E-03	1,17E-02	1,23E-03
Zinco (Zn)	ND	7,09E-02	ND	7,09E-02	7,47E-03

ND = não determinado

Tabela 5-18. Dose da Exposição - Tatuaçu

SQI	$E_{ing\text{-alimento}}$	$E_{ing\text{-água}}$	$E_{ing\text{-solo}}$	$E_{ing\text{-total}}$	Dose (mg/kg-BW/dia)
F2 (C10-C28)	ND	ND	7,10E+01	7,10E+01	7,48E+00
F3 (C28-C40)	ND	ND	1,63E+03	1,63E+03	1,72E+02
TPH (C10-C40)	ND	4,23E-03	2,09E+02	2,09E+02	2,20E+01
Arsênico (As)	1,22E-02	8,45E-05	5,21E-02	6,44E-02	6,78E-03
Bário (Ba)	8,83E+00	1,52E-01	1,89E+01	2,78E+01	2,93E+00
Cádmio (Cd)	2,35E-01	3,17E-06	1,15E-01	3,49E-01	3,68E-02
Chumbo (Pb)	1,20E-02	3,64E-04	1,89E-01	2,01E-01	2,12E-02
Crómio VI	1,28E-04	2,11E-04	6,02E-03	6,36E-03	6,69E-04
Mercúrio (Hg)	1,94E-03	1,06E-05	2,28E-02	2,48E-02	2,61E-03
Zinco (Zn)	ND	9,81E-02	ND	9,81E-02	1,03E-02

ND = não determinado

5.3 Análise de toxicidade

Para a determinação dos efeitos adversos dos contaminantes preocupantes para a fauna e a flora, foram utilizados os valores de referência de toxicidade (VRT) disponíveis nos relatórios da U.S.EPA “Níveis de triagem ecológica de solo” (*Ecological Soil Screening Levels*) desenvolvidos para arsênico (U.S. EPA, 2005), bário (U.S. EPA, 2005), cádmio (U.S. EPA, 2005), crómio (U.S. EPA, 2008), chumbo (U.S. EPA, 2005) e zinco (U.S. EPA, 2007).

O documento *Ecological Soil Screening Levels* (U.S. EPA, 2005) apresenta níveis de triagem ecológica do solo (Eco-SSL) de arsênio, para invertebrados terrestres (18 mg / kg de solo). O VTR indicado para aves é 2,24 mg/kg-bw/dia, que é o valor mais baixo de NOAEL para reprodução, crescimento ou sobrevivência. O VTR indicado para mamíferos é 1,04 mg/kg-bw/dia que é o NOAEL de limite mais alto e menor do que o LOAEL de limite mais baixo para reprodução, crescimento ou sobrevivência em ensaios revisados.

Para o bário, foram realizados testes específicos no solo para determinar bário total, bário extraível e bário total real de acordo com as diretrizes de remediação de solo para Barita (ALBERTA ENVIRONMENT, 2009), e os resultados foram incluídos nos Planos de Descontaminação de Solo (CH2MHILL, 2016). A conclusão dessas análises foi que o bário presente nas áreas contaminadas corresponde à barita

e, portanto, não é bário solúvel. Nos testes de toxicidade de plantas terrestres relatados pela Alberta Environment, o valor mais baixo de NOAEL para testes de crescimento em milho foi 227.500 mg/kg de barita. Da mesma forma, o valor mais baixo obtido nos testes de toxicidade de sobrevivência de *Eisenia fetida* foi o valor NOAEL de 17.000 mg/kg. Em mamíferos, os testes em ratos albinos apresentam valores de NOAEL de 160.000 mg/kg-bw em dose única para toxicidade aguda. Resultados de testes em aves não estão disponíveis nas diretrizes ambientais de Alberta. De forma conservadora, será tomado o valor de VTR indicado no documento Níveis de Triagem Ecológica do Solo (U.S. EPA, 2005) correspondente à média geométrica dos valores de NOAEL para efeitos de crescimento e reprodução, calculada em 51,8 mg/kg-bw/dia. Este valor foi inferior ao limite mais baixo para reprodução, crescimento ou sobrevivência e, consequentemente, foi adotado pela U.S.EPA (2005) como o VTR. Resultados de testes em aves não estão disponíveis nas diretrizes ambientais de Alberta ou níveis de triagem ecológica do solo (U.S. EPA, 2005). O VTR para aves foi estimado conservadoramente usando os VTR para mamíferos e com um fator de 0,1.

Para o cádmio, o relatório *Ecological Soil Screening Levels* (U.S. EPA, 2005) apresenta os Eco-SSL, para plantas terrestres (32 mg/kg de solo) e para invertebrados terrestres (142 mg / kg de solo). Os valores de VTR para mamíferos e aves foram obtidos também a partir do relatório *Ecological Soil Screening Levels* (U.S. EPA, 2005). O VTR indicado para aves é 1,47 mg/kg-bw/dia, que é a média geométrica dos valores de NOAEL para reprodução e crescimento. Este valor é inferior ao limite inferior LOAEL para reprodução ou crescimento. O VTR indicado para mamíferos é 0,77 mg/kg-bw/dia que é igual ao NOAEL de limite mais alto abaixo do LOAEL de limite mais baixo para reprodução, crescimento ou sobrevivência.

Para o chumbo, o relatório *Ecological Soil Screening* (U.S. EPA, 2005) apresenta os Eco-SSL, para plantas terrestres (120 mg/kg de solo) e para invertebrados terrestres (1.700 mg/kg de solo). Os valores de VTR para mamíferos e aves foram obtidos também a partir do relatório *Ecological Soil Screening Levels* (U.S. EPA, 2005). O VTR indicado para aves é 1,63 mg/kg-bw/dia, que é igual ao NOAEL de limite mais alto, menor do que o LOAEL de limite mais baixo para reprodução, crescimento ou sobrevivência. O VTR indicado para mamíferos é 4,7 mg/kg-bw/dia

que é igual ao NOAEL de limite mais alto abaixo do LOAEL de limite mais baixo para reprodução, crescimento ou sobrevivência.

Para o Crómio VI, o relatório *Ecological Soil Screening* (U.S. EPA, 2008) não apresenta valores de VTR ou Eco-SSL para plantas terrestres e invertebrados. Os VTRs usados correspondem ao relatório do Protocolo de Avaliação de Risco Ecológico Preliminar (*Screening*) para Instalações de Combustão de Resíduos Perigosos (U.S. EPA, 1999). O VTR para plantas terrestres é 0,018 mg/kg. Este valor corresponde a um teste subcrônico de EC50 no crescimento da alface. O VTR do Crómio VI para invertebrados terrestres é de 0,2 mg/kg, baseado em um teste de crônica de supervivência em *Octochaetus pattoni*. VTR para mamíferos e aves foram obtidos a partir do relatório *Ecological Soil Screening Levels* (U.S. EPA, 2008). O VTR indicado para aves é 2,66 mg/kg-bw/dia, que é a média geométrica dos valores de NOAEL para reprodução e crescimento. O VTR indicado para mamíferos é 9,24 mg/kg-bw/dia que é igual à média geométrica dos valores de NOAEL para reprodução e crescimento.

Para o mercúrio, os VTRs usados correspondem ao relatório do Protocolo de Avaliação de Risco Ecológico Preliminar (*Screening*) para Instalações de Combustão de Resíduos Perigosos (U.S. EPA, 1999). O VTR para plantas terrestres é 0,349 mg/kg. Este valor corresponde a um teste de toxicidade aguda na cevada modificada com um fator de 0,01. O VTR do Crómio VI para invertebrados terrestres é de 2,5 mg/kg, baseado num NOAEL para metil mercúrio do teste crônico (12 semanas) para regeneração do segmento e sobrevivência em *Eisenia foetida*. O VTR para mamíferos é 1,01 mg/kg-bw/dia, baseado no valor NOAEL de um teste crônico para reprodução. O VTR para aves é 3,25 mg/kg-bw/dia, baseado no valor LOAEL de um teste agudo de mortalidade modificado com um fator de 0,01.

Para o zinco, o relatório *Ecological Soil Screening* (U.S. EPA, 2007) apresenta valores de VTR para plantas terrestres (160 mg/kg de solo) e para invertebrados terrestres (120 mg/kg de solo). Os valores de VTR para mamíferos e aves também foram obtidos a partir do relatório *Ecological Soil Screening Levels* (U.S. EPA, 2007). O VTR da fauna aviária para o zinco é igual a 66,1 mg/kg-bw/dia, que é a média geométrica dos valores NOAEL para efeitos na reprodução e crescimento. O VTR da fauna de mamíferos para o zinco é igual a 75,4 mg/kg-bw/dia, que é a média

geométrica dos resultados de NOAEL dentro dos grupos de efeito de reprodução e crescimento.

No caso dos hidrocarbonetos considerados como SQI, para a determinação dos VTRs para invertebrados, foram utilizados os resultados dos testes com o método EPA 1996 - OPPTS 850.6200, realizados com *Eisenia Fetida* em amostras de solo de locais contaminados identificados no campo Pavayacu (IANNACONE, 2019). O menor valor de NOEC no qual a despigmentação e / ou desbaste foi determinada em todas as amostras foi 12.780 mg/kg para F2 e 21.292 mg/kg para F3. Nas observações relacionadas ao crescimento e aumento da biomassa, os valores de 1.608,75 mg/kg e 2.661,5 mg/kg foram determinados como NOEC. Conservadoramente, esses valores são usados como VTR para invertebrados do solo. VTR para as plantas terrestres foram obtidos da relatorio *Canada-Wide Standard for Petroleum Hydrocarbons (PHC) in Soil* (CCME, 2008). O TRV para F3, correspondeu ao Fracção 3 (Canada C16 - C34) EC50 concentração nominal de hidrocarbonetos (apenas Endpoints “definitivos” ou crônicos), calculado em 2.000 mg/kg. Para a F2, o valor considerado foi 1.800 mg/kg, também o valor de Fracção 2 (Canada C10-C16) EC50 concentração nominal de hidrocarbonetos. No entanto, estes valores são conservadores, dado que as Fracções de hidrocarbonetos no Canada correspondem a cadeias de carbono de menor peso molecular que as fracções da legislação peruana.

No caso de mamíferos, para F2 (C10-C28), equivalente a gama diesel, foram usados os dados da Agência Europeia de Produtos Químicos (ECHA), que apresentam um valor de NOAEL de 750 mg/kg-bw/dia para os mamíferos (ECHA, 2019). O LOAEL do estudo para efeitos sistêmicos é de 1.500 mg/kg/dia e o NOAEL para efeitos sistêmicos é de 750 mg/kg/dia, com base na redução do peso corporal em mães e em filhotes. O LOAEL para ratos machos adultos expostos ao JP-8 por via oral foi de 750 mg/kg/dia devido a alterações na patologia clínica, peso corporal, peso dos órgãos e a mesma irritação observada em ratos fêmeas. A diminuição no peso corporal de ratos machos é muito provavelmente devido à nefropatia específica de ratos machos e, portanto, não é levada em consideração para a derivação do NOAEL oral. O NOAEL de reprodução foi de 3.000 e 1.500 mg/kg/dia em machos e fêmeas, respectivamente. Para o presente estudo, o valor de 750 mg/kg-bw/dia foi usado para

os mamíferos e foi extrapolado para as aves com um fator de segurança de 10 vezes, resultando em um VRT de 75 mg/kg-bw/dia.

Para a faixa de hidrocarbonetos totais de petróleo (C10-C40), foi utilizado o valor de VRT de 211 mg/kg para óleo cru, do estudo “*Níveis de triagem com base em risco para a proteção de gado exposto a hidrocarbonetos de petróleo*” do Instituto Americano de Petróleo (API, 2004). Segundo o indicado pela API, o VRT para hidrocarbonetos de petróleo foi baseado nos valores de toxicidade disponíveis de estudos conduzidos em animais, se disponíveis, ou em pequenos mamíferos extrapolados para proteger os animais avaliados naquele relatório. O VRT para óleo cru para a proteção de gado foi baseado em um teste de toxicidade realizado em uma vaca de quatro meses administrada com óleo cru fresco em sua dieta por um período de tratamento de 127 dias. O LOAEL crônico foi 2,108 mg/kg-bw/dia, que foi extrapolado pela API para um NOAEL crônico resultando em um VRT de 211 mg/kg-bw/dia.

Considerando que para a fração mais leve (F2 C10-C28) é aplicado o valor de 75 mg/kg-bw/dia, conservadoramente, pode ser assumido para a fração mais pesada, a Fração 3 (C28-C40), o mesmo VRT que para toda a faixa do cru, 211 mg/kg-bw/dia.

A Tabela 5-19 apresenta um resumo dos valores toxicológicos de referência e suas fontes.

Tabela 5-19. Valores de Toxicidade de Referência (VTR)

SQI	Plantas Terrestres		Invertebrados terrestres		Mamíferos		Aves	
	VTR (mg/kg)	Fonte	VTR (mg/kg)	Fonte	VTR (mg/kg-BW/dia)	Fonte	VTR (mg/kg-BW/dia)	Fonte
Hidrocarbonetos								
F2 (C10-C28)	1,80E+03	(6)	1,61E+03	(7)	7,50E+01	(4)	7,50E+00	(4)
F3 (C28-C40)	2,00E+03	(6)	2,66E+03	(7)	2,11E+02	(1)	2,11E+01	(1)
TPH (C10-C40)	2,00E+03	(6)	2,66E+03	(6)	2,11E+02	(1)	2,10E+01	(1)
Metais								
Arsênico (As)	1,00E+00	(3)	1,80E+01	(3)	1,04E+00	(3)	2,24E+00	(3)
Bálio (Ba)	2,28E+05	(2,3)	1,70E+04	(2,3)	5,18E+01	(2,3)	5,18E+00	(2,3)
Cádmio (Cd)	3,20E+01	(3)	1,42E+02	(3)	7,70E-01	(3)	1,47E+00	(3)
Chumbo (Pb)	1,20E+02	(3)	1,70E+03	(3)	4,70E+00	(3)	1,63E+00	(3)

SQI	Plantas Terrestres		Invertebrados terrestres		Mamíferos		Aves	
	VTR (mg/kg)	Fonte	VTR (mg/kg)	Fonte	VTR (mg/kg-BW/dia)	Fonte	VTR (mg/kg-BW/dia)	Fonte
Crómio VI	1,80E-02	(5)	2,00E-01	(5)	9,24E+00	(3)	2,66E+00	(3)
Mercúrio (Hg)	3,49E-01	(5)	2,50E+00	(5)	1,01E+00	(5)	3,25E+00	(3)
Zinco (Zn)	1,60E+02	(3)	1,20E+02	(3)	7,54E+01	(3)	6,61E+01	(3)

(1) American Petroleum Institute, 2004

(2) Barite Remediation Guidelines. Alberta, 2004

(3) Ecological Soil Screening Levels, U.S.EPA (2005)

(4) European Chemicals Agency

(5) Screening Level Ecological Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities, U.S.EPA (1999)

(6) CWS for PHC in Soil (CCME, 2008)

(7) Iannacone, 2019

5.4 Caracterização do risco

5.4.1 Quociente de Risco (QR)

A caracterização do risco foi realizada com a estimativa do quociente de risco (QR). O quociente de risco foi calculado dividindo-se as doses de exposição calculadas para cada espécie e cada SQI, pelo valor de referência da toxicidade. A Tabela 5-1 apresenta os valores de QR. Valores maiores que 1 indicam risco potencial para a espécie.

Tabela 5-20. Quocientes de Risco (QR)

SQI	Plantas terrestres	Invertebrados terrestres	Cachorro-do-mato-de-orelhas-curtas	Onça-pintada	Arara-vermelha	Anta	Veado-mateiro	Agouti	Tatuaçu	QR Max
Hidrocarbonetos										
F2 (C10-C28)	1,19E+00	1,34E+00	3,46E-02	7,98E-02	3,52E-01	3,63E-01	2,91E-02	2,18E-02	9,97E-02	1,34E+00
F3 (C28-C40)	2,47E+01	6,17E+01	2,83E-01	6,52E-01	2,88E+00	2,97E+00	2,38E-01	1,78E-01	8,14E-01	6,17E+01
TPH (C10-C40)	3,17E+00	2,38E+00	3,63E-02	8,36E-02	3,71E-01	3,80E-01	3,05E-02	2,28E-02	1,04E-01	3,17E+00
Metais										
Arsênico (As)	1,58E+00	8,76E-02	3,73E-03	4,29E-03	1,25E-03	4,41E-02	3,54E-03	2,64E-03	6,52E-03	1,58E+00
Bário (Ba)	2,51E-03	3,36E-02	5,09E-02	3,28E-02	3,84E-01	8,93E-01	7,19E-02	5,35E-02	5,66E-02	8,93E-01
Cádmio (Cd)	1,09E-01	2,45E-02	5,75E-02	1,62E-02	1,58E-02	8,01E-01	6,42E-02	4,81E-02	4,78E-02	8,01E-01
Chumbo (Pb)	4,76E-02	3,36E-03	2,18E-03	3,44E-03	6,67E-03	4,03E-02	3,24E-03	2,41E-03	4,50E-03	4,76E-02
Crómio VI	1,01E+01	9,10E-01	7,32E-05	7,33E-05	4,24E-04	3,23E-03	2,61E-04	1,93E-04	7,24E-05	1,01E+01
Mercúrio (Hg)	1,98E+00	2,76E-01	2,24E-03	1,92E-03	3,81E-04	2,03E-02	1,63E-03	1,22E-03	2,58E-03	1,98E+00
Zinco (Zn)	0,00E+00	0,00E+00	2,74E-03	9,43E-04	1,72E-05	2,33E-03	2,98E-04	9,90E-05	1,37E-04	2,74E-03

Elaboração própria

5.4.2 Análise de Incertezas

Deve-se notar que, por si só, uma modelagem de risco ecológico contém muitas incertezas.

5.4.2.1 Sobre a caracterização da área de estudo.

Foram empregados os resultados obtidos das amostras do solo dos locais incluídos no Plano Ambiental Complementar (PAC) e as amostras coletadas pela OEFA nos locais fora do PAC.

É muito provável que existam outras áreas contaminadas que não foram incluídas nos estudos ambientais anteriores, mas pode-se inferir que, caso não fossem incluídas no Plano Ambiental Complementar, não teriam um impacto maior e, portanto, as concentrações são provavelmente menores do que as estimadas.

Além disso, tendo em vista que o objetivo da OEFA era determinar a existência de áreas com concentrações acima dos padrões de qualidade ambiental, as amostras coletadas não seguiram necessariamente um padrão estatístico, mas sim uma amostragem direcionada e, portanto, as amostras os funcionários podem estar superestimando o risco.

5.4.2.2 Sobre parâmetros de exposição

Em geral, supõe-se que, para os herbívoros, a planta total que eles comem esteja contaminada. Isso possivelmente está superestimando o risco, pois os contaminantes tendem a permanecer na raiz e, em menor grau, no caule e nas folhas e menos nos frutos.

Fatores de bioconcentração também são uma incerteza, uma vez que os valores vêm de testes com fatores de incerteza e que também são assumidos para espécies diferentes. Não é possível determinar se a dose de exposição está sendo superestimada ou subestimada.

5.4.2.3 Sobre os Valores de Referência de Toxicidade

No caso dos hidrocarbonetos, por se tratar de uma mistura, não existem muitos estudos que determinem o VRT nas mesmas frações analisadas de acordo com a legislação peruana. Por outro lado, quando se trata de derramamentos históricos, trata-se de hidrocarbonetos envelhecidos, cujas frações mais leves e mais

voláteis foram degradadas e com menor toxicidade do que a utilizada, o que pode estar superestimando o risco calculado.

5.5 Resultados

Todos os metais apresentam quocientes de risco (QR) inferiores a um (01) para as espécies animais avaliadas. No entanto, houve risco para as plantas em relação aos parâmetros arsênio, cromo VI e mercúrio.

A Fração pesada – F3 (C28-C40) de hidrocarbonetos apresenta o QR maior a 1, e, portanto, representaria um risco inaceitável para as espécies críticas avaliadas. QR para Fração 3 de hidrocarbonetos resultou em 2,88 para a Arara-vermelha e 2.97 para a Anta. Os hidrocarbonetos presentes no solo não representam um nível de risco inaceitável dado que os efeitos toxicológicos não são esperados para as espécies críticas na cadeia alimentar. No caso de plantas e invertebrados do solo, existe risco inaceitável em relação à fração 2 e fração 3 dos hidrocarbonetos.

A CMA (Concentração máxima aceitável) foi calculada a partir da fixação do quociente de risco aceitável (QR=1) para contaminantes onde o risco foi determinado e foram expressos a partir da associação das equações utilizadas para o cálculo do ingresso e para o cálculo do risco:

$$\text{CMA}_{\text{sol}} = (\text{C}_{\text{sol}} / \text{QR}_{\text{calculado}}) \times \text{QR}_{\text{aceitável}}$$

Onde

$\text{CMA}_{\text{sol}} =$ valor máximo no solo (mg/Kg);

$\text{C}_{\text{sol}} =$ concentração usada no cálculo do risco (mg/Kg);

$\text{QR}_{\text{calculado}} =$ o quociente de risco calculado;

$\text{QR}_{\text{aceitável}} =$ unidade (1).

Tabela 5-21. Concentrações máximas aceitáveis

SQI	C _{solo} (mg/kg)	Máximo Quociente de Risco (QR)	CMA	PQA	NRE	Requer remediação?
F2 (C10-C28)	2149	1,34	1608,75	1200	1608,75	Sim
F3 (C28-C40)	49376	61,72	800,00	3000	3000	Sim
TPH (C10-C40)	6331	3,17	2000,00	4200	4200	Sim
Arsênico (As)	1,58	1,58	1,00	50	50	Não
Crómio VI	0,18	10,11	0,02	0,40	0,40	Não
Mercúrio (Hg)	0,69	1,98	0,35	6,6	6,6	Não

A Tabela mostra os valores de concentração máxima aceitável com base nos valores de razão de risco determinados. Isso também mostra os valores dos padrões de qualidade ambiental (PQA) para o uso de terras agrícolas, que por definição protegem o ecossistema. Portanto, os Níveis Específicos de Remediação (NRE) correspondem ao valor mais alto entre CMA e PQA. De acordo com a legislação peruana, no caso que o nível de remediação específico determinado (NRE) seja maior que o valor da concentração do poluente no solo, remediação não é necessária para aquele parâmetro. Portanto, a remediação não é necessária para os parâmetros Crômio VI, arsênio e mercúrio. Por outro lado, a remediação do solo é necessária para os hidrocarbonetos.

6 CONCLUSÃO

Os parâmetros Fração 2 de hidrocarbonetos (C10-C28), Fração 3 de hidrocarbonetos (C28-C40), crômio VI, arsênico (As), bário (Ba), cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb) foram determinados como SQI para o solo.

Foram determinadas as espécies de interesse para realizar a avaliação do risco ecológico, mamíferos e aves de importância na cadeia trófica terrestre, tais como Cachorro-do-mato-de-orelhas-curtas (*Atelocynus microtis*), Tatuaçu (*Priodontes maximus*), Anta (*Tapirus terrestris*); Veadão-mateiro (*Mazama americana*), Onça-pintada (*Panthera onca*); Agouti (*Dasyprocta fuliginosa*) e Arara-vermelha (*Ara chloropterus*).

A área de estudo apresentaria risco ecológico para espécies críticas. As doses de exposição para a fração pesada (F3 C28-C40) de hidrocarbonetos, excedem os valores de referência de toxicidade para a arara-vermelha e para a anta.

As concentrações existentes dos parâmetros F2 (C10-C28), F3 (C28-C40), arsênico (As), crômio VI e mercúrio (Hg), representam risco para as plantas terrestres e os invertebrados do solo.

As concentrações existentes bário (Ba), cádmio (Cd) chumbo (Pb), e zinco (Zn) não representam um risco inaceitável dado que os efeitos toxicológicos não são esperados para as espécies críticas no campo Pavayacu.

Como a avaliação de risco é preliminar e conservadora, e uma vez que os principais riscos obtidos estão ligados às plantas e ao solo, é pertinente a realização de testes padronizados com espécies locais para determinar o nível de risco existente.

7 BIBLIOGRAFÍA

ALBERTA ENVIRONMENT. **Soil Remediation Guidelines for Barite: Environmental Health and Human Health.** Alberta Environment. Edmonton. 2009.

ANA. **Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial y Sedimentos de la Cuenca del Río Corrientes - Lote 8.** Autoridad Nacional del Agua. Lima. 2013.

API. **Risk-Based Screening Levels for the Protection of Livestock Exposed to Petroleum Hydrocarbons.** American Petroleum Institute. Washington, D.C. 2004. (PUBLICATION NUMBER 4733).

CCME. **Canada-Wide Standard for Petroleum Hydrocarbons (PHC) in Soil: Scientific Rationale.** Canadian Council of Ministers of the Environment. [S.I.]. 2008. (ISBN 978-1-896997-77-3 PDF).

CH2MHILL. **Planes de Descontaminación de Suelos del Lote 8.** Pluspetrol Norte S.A. Lima. 2016. Obtenido por Solicitud de Acceso a la Información Pública.

ECHA. MK1 Diesel Fuel. **European Chemicals Agency,** 2019. Disponível em: <<https://echa.europa.eu/sv/registration-dossier/-/registered-dossier/16020/7/6/1>>. Acesso em: 2020.

ECOTEC-FLUOR DANIEL GTI. **Evaluación Ambiental Territorial de las cuencas de los ríos Tigre - Pastaza.** Ministerio de Energía y Minas. Lima. 1998.

EFROYMSON, R.; SAMPLE, B.; PETERSON, M. Ecotoxicity Test Data for Total Petroleum Hydrocarbons in Soil: Plants and Soil-Dwelling Invertebrates. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v. II, n. 10, p. 207-231, 2004.

ERM. **Plan de Abandono en Función al Vencimiento del Contrato del Lote 8.** Pluspetrol Norte S.A. Lima. 2019.

GUIGUER, K. **Avaliação de risco ecológico:** O que é, porque e como fazer. V Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. São Paulo: [s.n.]. 2017.

IANNACONE, J. **Toxicidad subcrónica en lombriz de tierra Eisenia foetida.** Pluspetrol Norte S.A. [S.I.]. 2019.

INGEMMET. Geología de los cuadrángulos de Cunambo, Mariscal Cáceres, Río Pucaruro, Vargas Guerra, Río Huitoyacu, Checherta, Andoas, Lamastipishca, San Antonio, Nuevo Soplín, Valencia, Pucaruro, Sungache, Puncuna, Villa Trompeteros, San Fernando, San Juan de Pavayacu. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima. 1999.

IUCN. International Union for Conservation of Nature. The IUCN Red List of Threatened Species, 2020. Disponível em: <<https://www.iucnredlist.org>>. Acesso em: July 2020.

MINAGRI. Decreto Supremo Nº 004-2014-MINAGRI, que aprueba la actualización de la lista de clasificación y categorización de las especies amenazadas de fauna silvestre legalmente protegidas. Ministério da Agricultura. Lima. 2014. (D.S. Nº 004-2014-MINAGRI).

MINAM. Guía para la elaboración de Estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente (ERSA) en sitios contaminados. Ministerio del Ambiente. Lima. 2015.

MINEM. Decreto Supremo Nº 015-2006-EM. Aprueban Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos. Ministerio de Energía y Minas. Lima. 2006.

MINEM. Decreto Supremo Nº 046 93 EM. Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos. Lima. 1993.

MINEM. Guía Ambiental para la Disposición y Tratamiento del Agua Producida. Lima.

MONDINA. Programa de Adecuación y Manejo Ambiental, Lote 8. Petroperú S.A. Lima. 1995. Obtenido mediante acceso a la información pública.

OEFA. Informe de Evaluación Ambiental del Lote 8 de Pluspetrol Norte S.A. - Loreto, años 2014 y 2015. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Lima. 2015.

OEFA. Informe de Identificación de Sitios Contaminados en el Lote 8, Ámbito de la cuenca del Río Corrientes (Locaciones Corrientes, Pavayacu y Nueva Esperanza). Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Lima. 2016.

- OSINERGMIN. **Eliminación del Mayor Impacto Ambiental de los Campos Petroleros.** Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. Lima. 2009.
- OSINERGMIN. **La Industria de los Hidrocarburos Líquidos en el Perú:** 20 años de aporte al desarrollo del país. Lima: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2015.
- PERUPETRO. **Estadística Petrolera - Año 2013.** Lima. 2014.
- PLUSPETROL. **Plan Ambiental Complementario - Lote 8.** Pluspetrol Norte S.A. Lima. 2006.
- SCHLUMBERGER. **Explorando las profundidades del Perú.** Lima: Gráfica Biblos, 2007.
- SERFOR. **Libro Rojo de la Fauna Silvestre Amenazada del Perú.** Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. Lima. 2018.
- SUTTER II, G. et al. **Ecological Risk Assessment for Contaminated Sites.** Boca Ratón: CRC Press, 2000.
- U.S. EPA. **Ecological Soil Screening Levels for Arsenic.** U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. 2005. (OSWER Directive 9285.7-62).
- U.S. EPA. **Ecological Soil Screening Levels for Barium.** U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. 2005.
- U.S. EPA. **Ecological Soil Screening Levels for Cadmium.** U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. 2005. (OSWER Directive 9285.7-65).
- U.S. EPA. **Ecological Soil Screening Levels for Chromium.** U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. 2008.
- U.S. EPA. **Ecological Soil Screening Levels for Lead.** U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. 2005. (OSWER Directive 9285.7-70).
- U.S. EPA. **Ecological Soil Screening Levels for Zinc.** U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. 2007. (OSWER Directive 9285.7-73).
- U.S. EPA. **Framework for Ecological Risk Assessment.** U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. 1992.
- U.S. EPA. **Guidelines for Ecological Risk Assessment.** U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. 1998.

U.S. EPA. **Screening Level Ecological Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities.** United States Environmental Protection Agency. Washington D.C. 1999. (EPA530-D-99-001A).

U.S. EPA. Statistical Software ProUCL 5.1.00 for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations. **ProUCL Software**, February 2018. Disponivel em: <<https://www.epa.gov/land-research/proucl-software>>.

WALSH. **Línea Base Ambiental - Lote 8.** Pluspetrol Norte S.A. Lima. 2006.

WALSH. **Plan de Abandono Parcial de la Batería 5 (Pavayacu) en el Lote 8.** Lima: Walsh Perú S.A., 2018.