



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

AVALIAÇÃO DOS VALORES ORIENTADORES DE INVESTIGAÇÃO PARA OS
HIDROCARBONETOS TOTAIS DE PETRÓLEO EM SOLOS E ÁGUA SUBTERRÂNEA
DE MINAS GERAIS

PEDRO AUGUSTO PEREIRA GUEDES

BELO HORIZONTE

2020

PEDRO AUGUSTO PEREIRA GUEDES

AVALIAÇÃO DOS VALORES ORIENTADORES DE INVESTIGAÇÃO PARA OS
HIDROCARBONETOS TOTAIS DE PETRÓLEO EM SOLOS E ÁGUA SUBTERRÂNEA
DE MINAS GERAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais como requisito parcial para a obtenção do
título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Evandro Carrusca de Oliveira

Coorientador: Luiz Otávio Martins Cruz

BELO HORIZONTE

2020



PEDRO AUGUSTO PEREIRA GUEDES

**AVALIAÇÃO DOS VALORES ORIENTADORES DE INVESTIGAÇÃO PARA OS
HIDROCARBONETOS TOTAIS DE PETRÓLEO EM SOLOS DE MINAS GERAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: 30 / 11 / 2020

Banca Examinadora:

Evandro Carrusca de Oliveira – Presidente da Banca Examinadora
Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Orientador

Luiz Otávio Martins Cruz
MSc. da Fundação Estadual do Meio Ambiente-FEAM - Coorientador

Fernanda Carla Wasner Vasconcelos
Prof. Dra. da Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG

Frederico Keizo Odan
Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

RESUMO

GUEDES, Pedro Augusto Pereira. **Avaliação dos valores orientadores de investigação para os hidrocarbonetos totais de petróleo em solos e água subterrânea de minas gerais.** 2020. 79 páginas. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020

Em Minas Gerais, o número de áreas contaminadas por derivados de petróleo representa cerca de 73% das áreas contaminadas em gerenciamento pela Fundação Estadual do Meio Ambiente. Para o gerenciamento das áreas contaminadas, os órgãos ambientais utilizam “Valores Orientadores”, que auxiliam no controle do aporte de substâncias químicas no solo e na água subterrânea. Os valores orientadores são definidos através de modelos de avaliação de risco à saúde humana, que utilizam parâmetros físico-químicos e toxicológicos da substância de interesse, bem como parâmetros do meio físico da área que se quer avaliar e parâmetros exposicionais da população residente naquela área. No Brasil, a legislação que determina os valores orientadores é a Resolução CONAMA nº 420/2009, e em Minas Gerais é a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010. O TPH é um parâmetro de qualidade do solo e água subterrânea utilizado por órgãos ambientais para avaliar possíveis contaminações por hidrocarbonetos derivados de petróleo. Ambas as legislações citadas não contemplam valores orientadores para os Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (TPH), por isso, alguns órgãos ambientais como a CETESB e a FEAM utilizam a Lista Holandesa. O presente trabalho tem por objetivo avaliar os valores orientadores para o TPH em solos e água subterrânea de Minas Gerais, utilizando o modelo de avaliação de risco à saúde humana da CETESB, que é um dos modelos mais utilizados no Brasil. É desenvolvido baseado em metodologia da USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos). Para a avaliação dos valores de investigação, foram utilizados os cenários de uso e ocupação do solo definidos na DN 02/2010 (agrícola, residencial e industrial) e as vias de exposição do receptor aos contaminantes. Dados referentes aos parâmetros do meio físico e exposicionais para o Estado de Minas Gerais foram levantados em relatórios recebidos pela FEAM e estudos acadêmicos. Os dados referentes aos parâmetros físico-químicos e toxicológicos para o TPH originaram de bancos de dados da USEPA. Os valores obtidos neste trabalho, de forma geral, são discrepantes dos valores determinados pela USEPA, ora sendo mais restritivos, ora mais permissivos. Esta discrepância está associada aos diferentes valores utilizados pela USEPA e por este trabalho para os parâmetros de meio físico e exposicionais.

Palavras chave: Áreas Contaminadas. TPH. Hidrocarbonetos. Petróleo, Avaliação de Risco.

ABSTRACT

GUEDES, Pedro Augusto Pereira. **Evaluation of research guidance values for total petroleum hydrocarbons in soils and groundwater in minas gerais.** 2020. 79 pages. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020

In Minas Gerais, the number of contaminated areas by oil products represents about 73% of the contaminated areas under management by the Fundação Estadual do Meio Ambiente. For the management of contaminated areas, environmental agencies use “Guiding Values”, which help to control the supply of chemical substances in the soil and groundwater. The guiding values are defined through risk assessment models for human health, which use physico-chemical and toxicological parameters of the substance of interest, as well as parameters of the physical environment of the area to be evaluated and exposure parameters of the population residing in that area. In Brazil, the legislation that determines the guiding values is CONAMA Resolution No. 420/2009, and in Minas Gerais it is the Joint Normative Resolution COPAM / CERH No. 02/2010. TPH is a parameter of soil and groundwater quality used by environmental agencies to assess possible contamination by oil-derived hydrocarbons. Both laws cited do not include guiding values for Total Petroleum Hydrocarbons (TPH), which is why some environmental bodies such as CETESB and FEAM use the Dutch List. The present work aims to evaluate the guiding values for TPH in soil and groundwater in Minas Gerais, using the human health risk assessment model of CETESB, which is one of the most used models in Brazil. It is developed based on USEPA (United States Environmental Protection Agency) methodology. For the evaluation of the investigation values, the land use and occupation scenarios defined in DN 02/2010 (agricultural, residential and industrial) and the routes of exposure of the receiver to contaminants were used. Data referring to physical and exposure parameters for the State of Minas Gerais were raised in reports received by FEAM and academic studies. The data relating to the physical-chemical and toxicological parameters for TPH originated from USEPA databases. The values obtained in this work, in general, are different from the values determined by USEPA, sometimes being more restrictive, sometimes more permissive. This discrepancy is associated with the different values used by USEPA and by this work for the parameters of physical and exposition media.

Keywords: Contaminated areas. TPH. Hydrocarbons. Petroleum, Risk Assessment.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	10
Contextualização do tema.....	10
Justificativa.....	12
OBJETIVOS.....	13
Objetivo Geral	13
Objetivos Específicos	13
REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
Áreas contaminadas.....	14
Gerenciamento de áreas contaminadas e legislação	15
Classificação de substâncias químicas orgânicas	16
Contaminação por derivados de petróleo	17
Hydrocarbonetos totais de petróleo – TPH	17
Metodologias de detecção e mensuração de TPH	19
Toxicidade	21
Avaliação de risco à saúde humana.....	22
Avaliação de risco à saúde humana por TPH.....	25
Planilha de avaliação de risco à saúde humana da CETESB	26
METODOLOGIA.....	27
Descrição do modelo de avaliação de risco à saúde humana	28
Toxicidade para o TPH.....	35
Levantamento de dados	35

RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
Parâmetros do meio físico	38
Parâmetros exposicionais	43
Expectativa de vida.....	43
Massa Corpórea	44
Duração da exposição e frequência	45
Demais parâmetros exposicionais	47
Toxicidade e propriedades físico-químicas do TPH.....	48
Valores de investigação	50
Comparação dos valores obtidos com dados da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) 62	
CONCLUSÕES	66
RECOMENDAÇÕES.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	68
APÊNDICE I – Dados de relatórios da Gerência de áreas contaminadas da FEAM.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vantagens e Desvantagens da Cromatografia Gasosa - GC.....	20
Tabela 2: Frações de TPH alifáticos e aromáticos e seus representantes.....	22
Tabela 3: Equações para cálculo dos VI's para cada via de exposição para compostos não carcinogênicos no solo.....	33
Tabela 4: Equações para cálculo dos VI's para cada via de exposição para compostos não carcinogênicos na água subterrânea.....	34
Tabela 5: Parâmetros calculados.....	36
Tabela 6: Parâmetros do meio físico.....	38
Tabela 7: Parâmetros do solo.....	38
Tabela 8: Parâmetros calculados.....	41
Tabela 9: Parâmetros do meio físico determinados pela CETESB.....	42
Tabela 10: Massa corpórea da população da região sudeste do Brasil.....	44
Tabela 11: Massa corpórea para diferentes faixas etárias e situações do domicílio.....	45
Tabela 12: Duração de exposição, frequência da exposição e tempo médio para efeitos não carcinogênicos.....	46
Tabela 13: Parâmetros exposicionais determinados pela CETESB.....	47
Tabela 14: Parâmetros físico-químicos para as faixas de TPH.....	49
Tabela 15: Valores recomendados de toxicidade oral para o TPH. Fonte: PPRTV (USEPA, 2009).....	49
Tabela 16: Valores recomendados de toxicidade por inalação para o TPH.....	50
Tabela 17: Valores de Investigação para o solo no Cenário Agrícola – Receptor: CRIANÇA.....	52
Tabela 18: Valores de Investigação para o solo no Cenário Agrícola – Receptor: ADULTO.....	53
Tabela 19: Valores de Investigação para a água subterrânea no Cenário Agrícola – Receptor: Criança.....	54
Tabela 20: Valores de Investigação para a água subterrânea no Cenário Agrícola – Receptor: Adulto.....	55
Tabela 21: Valores de Investigação para o solo no Cenário Residencial – Receptor: CRIANÇA.....	56
Tabela 22: Valores de Investigação para o solo no Cenário Residencial – Receptor: ADULTO.....	57
Tabela 23: Valores de Investigação para a água subterrânea no Cenário Residencial – Receptor: Criança.....	58
Tabela 24: Valores de Investigação para a água subterrânea no Cenário Residencial – Receptor: Adulto.....	59
Tabela 25: Valores de Investigação para o solo no Cenário Industrial.....	60
Tabela 26: Valores de Investigação para a água subterrânea no Cenário Industrial.....	61
Tabela 27: Valores de Investigação para o solo no cenário Residencial - USEPA.....	63
Tabela 28: Valores de Investigação para o solo no cenário Industrial - USEPA.....	64
Tabela 29: Valores de Investigação para TPH na água potável - USEPA.....	64
Tabela 30: Comparação entre valores de investigação obtidos e USEPA (2020).....	64
Tabela 31: Comparação entre valores de investigação obtidos para água subterrânea e dados da USEPA.....	65

INTRODUÇÃO

Contextualização do tema

O crescimento industrial, principalmente nos centros urbanos, tem contribuído para o aumento dos casos de contaminação do solo e das águas subterrâneas. Esse setor, por manipular diversas substâncias químicas que podem causar prejuízos à saúde humana, tem grande potencial de causar grandes impactos (CUNHA, 1997).

Um dos setores industriais mais importantes em todo o mundo é o setor de comércio e armazenamento de substâncias químicas derivadas do petróleo. O crescimento da frota de veículos automotores à combustão nos últimos anos tem contribuído para o crescimento do setor de comércio de combustíveis derivados de petróleo, como a gasolina e o diesel. No Brasil, no ano de 2018 haviam cerca de 42 mil postos de combustível instalados, sendo que aproximadamente 11% destes estão localizados no Estado de Minas Gerais (ANP, 2018)

Atualmente, de todas as áreas contaminadas que estão sendo gerenciadas pelos órgãos ambientais (FEAM e PBH) no Estado de Minas Gerais, cerca de 73% são áreas cuja atividade econômica é classificada pela Deliberação Normativa COPAM nº. 217/2017 como postos de combustíveis (FEAM, 2018).

A contaminação oriunda de atividades de postos de combustíveis é caracterizada pelo vazamento de substâncias derivadas de petróleo, principalmente gasolina e diesel, de tanques e tubulações do sistema de abastecimento (LIMA et al., 2001).

Um dos compostos utilizados atualmente pelos órgãos ambientais como um dos parâmetros para monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea que determinam se um determinado ambiente está contaminado ou não é o TPH (Hidrocarbonetos Totais de Petróleo), que abrange diversos hidrocarbonetos derivados de petróleo.

A legislação brasileira que determina os Valores Orientadores, que são as concentrações de substâncias químicas que fornecem orientação sobre a qualidade e as alterações do solo e da água subterrânea, é a Resolução CONAMA nº 420/2009. No Estado de Minas Gerais, esses valores são definidos pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010, que se baseia nas determinações descritas na resolução nacional.

Apesar de estabelecer limites de valores de concentração de diversas substâncias, essas normativas não contemplam o TPH em seu escopo. Assim, alguns dos órgãos ambientais brasileiros, como a CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) e a FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente – MG), utilizam a “Lista Holandesa de Valores de Qualidade do Solo e da Água Subterrânea” (CETESB, 2016), que estabelece esses valores para o parâmetro TPH.

Os Valores Orientadores são definidos por modelos de avaliação de risco à saúde humana genéricos, que levam em consideração diversos parâmetros relacionados ao ambiente que se quer avaliar. Assim, valores limite de concentração de uma substância definidos por um modelo de avaliação de risco à saúde humana para um determinado local, podem ser diferentes quando comparados à mesma avaliação, feita em um local diferente (CETESB, 2007).

Dessa forma, os valores orientadores utilizados pelos órgãos ambientais brasileiros para o TPH, no gerenciamento das áreas contaminadas por derivados de petróleo, podem contribuir para uma interpretação incorreta dos riscos à saúde aos quais os receptores estão sujeitos.

Além disso, o modelo de avaliação de risco utilizado atualmente pelos principais órgãos ambientais do país, como a CETESB e a FEAM, que realiza o cálculo do risco através de uma planilha, não definem os parâmetros físico-químicos e toxicológicos para o TPH, e assim, não conseguem determinar as Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA's) para este parâmetro.

Segundo Kolesnikovas, Oliveira & Duarte (2009), a norma ASTM E 1739/95, que é um dos pilares no qual os estudos de avaliação de risco se apoiam, não aconselha utilizar parâmetros genéricos como o TPH nos modelos de avaliação de risco, e sim utilizar os parâmetros de cada substância que o compõe.

Todavia, segundo Vorhess et al. (1999), a utilização de faixas de hidrocarbonetos que possuem características semelhantes, como o tamanho da cadeia de carbono, se apresenta como uma alternativa interessante, uma vez que estas substâncias possuem efeitos de toxicidades ao ser humano semelhantes entre si.

Justificativa

A problemática da contaminação do solo e das águas subterrâneas por derivados de petróleo têm se tornado cada vez mais importante, principalmente pelo grande número de casos de contaminação que se tem conhecimento através dos registros dos órgãos ambientais.

A toxicidade dos hidrocarbonetos de petróleo, especialmente aqueles formados por cadeias aromáticas, é extremamente alta, e tem grande potencial de causar danos à saúde humana (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010).

Os hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) vêm como uma alternativa para serem utilizados como parâmetro na avaliação da contaminação de uma área, uma vez que este é uma mistura de compostos do petróleo, que pode representar de forma mais fiel as propriedades físico-químicas dos poluentes em uma área (KOLESNIKOVAS; OLIVEIRA; DUARTE, 2009).

A utilização desse parâmetro no gerenciamento das áreas contaminadas se mostra ainda mais importante quando analisamos alguns casos de contaminação no Estado de Minas Gerais. Em algumas áreas contaminadas em gerenciamento pela FEAM, principalmente os mais antigos, durante os monitoramentos dos sites, as substâncias derivadas de petróleo mais conhecidas (como BTEX, HPA e outras) não são detectadas, enquanto o parâmetro TPH é encontrado em concentrações de uma a duas ordens de grandeza acima do valor de referência.

Dessa forma, é extremamente importante que se determine valores orientadores para o TPH, levando em consideração os cenários de exposição específicos do Estado de Minas Gerais, trazendo parâmetros para identificação da contaminação e para a gestão das áreas contaminadas no Estado baseado no risco à saúde humana.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar os valores de investigação para os Hidrocarbonetos Totais de Petróleo - TPH baseado em metodologia de avaliação de risco à saúde humana, utilizando dados de cenários do Estado de Minas Gerais, visando auxiliar o processo de gerenciamento de áreas contaminadas por hidrocarbonetos derivados de petróleo no Estado.

Objetivos Específicos

- Realizar levantamento de dados do meio físico necessários ao modelo de avaliação de risco, para o Estado de Minas Gerais;
- Adaptar modelo de avaliação de risco à saúde humana através da inserção de dados genéricos do meio físico de Minas Gerais;
- Aplicar o modelo de avaliação de risco à saúde humana (adaptado da CETESB) para determinação de valores de investigação para o TPH.
- Comparar os valores obtidos no modelo de avaliação de risco à saúde humana proposto nesta pesquisa com os valores atualmente utilizados em Minas Gerais, no Brasil e pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA).

REFERENCIAL TEÓRICO

Áreas contaminadas

Segundo a CETESB (2013), uma área contaminada é um tipo de área degradada, em que houve alteração das propriedades físicas e/ou químicas de um ou mais compartimentos do meio ambiente. No caso das áreas contaminadas, as principais alterações ocorrem nas propriedades químicas do solo, principalmente através da inserção de substâncias em concentrações não controladas, determinando riscos potenciais à saúde dos seres vivos receptores destas substâncias, bem como comprometendo a qualidade dos recursos naturais.

Existem várias atividades antrópicas que possuem potencial de causar contaminação dos solos, porém, segundo Cunha (1997), as que mais se destacam são as atividades industriais, sistemas de tratamento e disposição de resíduos e armazenamento e distribuição de substâncias químicas. Dessas últimas podemos destacar as atividades de armazenamento e comercialização de combustíveis derivados de petróleo.

Segundo a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2018), através do Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, o Brasil, ao final do ano de 2017 possuía 41.984 postos revendedores de derivados de petróleo operando no país. Desses 41.984 postos, cerca de 10,3% estão localizados no Estado de Minas Gerais.

Com o aumento da industrialização do país e também da utilização de combustíveis derivados do petróleo devido ao acréscimo constante na frota de veículos automotores circulando nas ruas, há sem dúvida um aumento nos casos de contaminação dos solos por estas substâncias (FINOTTI; CAICEDO; RODRIGUEZ, 2001).

Além disso, os controles ambientais no passado eram precários ou inexistentes e não acompanharam o desenvolvimento do país. Assim, atualmente ainda estão sendo identificadas áreas que foram contaminadas no passado (Minas Gerais, 2018).

Esse aumento no número de casos de contaminação dos solos e águas subterrâneas no Estado de Minas Gerais pode ser exemplificado pelo Inventário de Áreas Contaminadas do Estado. No ano de 2018, o Inventário registrou uma porcentagem de 73% das áreas contaminadas oriundas da atividade postos de combustível (Minas Gerais, 2018).

Gerenciamento de áreas contaminadas e legislação

O gerenciamento das áreas contaminadas no Brasil é relativamente recente, e alguns órgãos estaduais, como a CETESB (São Paulo) e a FEAM (Minas Gerais) se destacam no país pela vanguarda e pelo desempenho que vêm apresentando nesse gerenciamento ao longo dos últimos anos (LIMA et al., 2001).

Diferentemente das poluições do ar e das águas superficiais, que até certo modo podem ter a abordagem em seu gerenciamento padronizada, com ações genéricas para diferentes áreas, a poluição dos solos pode ser mais complexa, devido às variações de seus parâmetros físicos e químicos. Assim, de forma a controlar o aporte de substâncias químicas no solo, os órgãos ambientais devem estabelecer valores orientadores que auxiliem na tomada de decisão e que deem suporte para as ações necessárias ao gerenciamento das áreas contaminadas (FERNANDES, 2011).

Dessa forma, os valores orientadores servem como limite para a concentração de substâncias, que facilitam na avaliação da qualidade do solo. Isto tanto para aqueles em que há ocorrência natural de substâncias químicas em concentrações elevadas, como também para o controle da poluição nas áreas contaminadas que já estão em processo de gerenciamento (CETESB, 2001).

Em Minas Gerais, a legislação que institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas e estabelece valores orientadores para as substâncias químicas no solo e nas águas subterrâneas do Estado é a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº. 02 de 2010. Os valores orientadores em Minas Gerais são divididos em três categorias (MINAS GERAIS, 2010):

§1º - Os Valores de Referência de Qualidade (VRQ) são utilizados para caracterizar a ocorrência natural de substâncias químicas, considerando a política de prevenção e controle das funções do solo.

§2º - Os Valores de Prevenção (VP) são utilizados para indicar alterações da qualidade do solo que possam prejudicar sua funcionalidade e disciplinar a introdução de substâncias químicas no solo.

§3º - Os Valores de Investigação (VI) são utilizados para desencadear e definir ações de investigação e controle, indicando a necessidade de ações para resguardar os receptores de risco.

O Estado de São Paulo, por meio da CETESB, foi o primeiro Estado brasileiro a estabelecer valores orientadores para as substâncias químicas no solo e nas águas subterrâneas, e serviu de base para a Resolução CONAMA nº 420/2009. A divisão destes valores em categorias é muito semelhante ao que é utilizado em Minas Gerais, definido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2012, mas os valores são distintos, uma vez que a CETESB atualizou os valores do Estado de São Paulo em 2013.

No Brasil, a legislação que determina valores orientadores para substâncias químicas nos solos e na água subterrânea é a Resolução CONAMA nº 420/2010, (BRASIL, 2010).

Como já mencionado, o Estado de Minas Gerais não possui valores orientadores definidos para o TPH. Dessa forma, os valores utilizados pelos órgãos ambientais para subsidiar o gerenciamento em áreas que apresentam concentrações do parâmetro TPH são os mesmos definidos pela CETESB, que se baseou na Lista Holandesa. Os valores de investigação estabelecidos são de 600 µg/L para a água subterrânea e de 1000 mg/kg para o solo (CETESB, 2016).

Estabelecendo um paralelo entre os “Valores Orientadores” das legislações estaduais de Minas Gerais e São Paulo, verifica-se que os Valores de Investigação se equivalem às Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA’s) definidas no modelo de avaliação de risco à saúde humana da CETESB, que foi utilizado para determinação dos Valores Orientadores para o Estado de São Paulo. Tanto o Valor de Investigação - VI quanto as CMA’s são parâmetros de qualidade, relacionados à concentração de substâncias químicas no solo ou água subterrânea que, se ultrapassados, pode haver riscos para a saúde humana (FERNANDES, 2011).

Classificação de substâncias químicas orgânicas

De acordo com Solomons & Fruhle (2001), a parcela da ciência responsável pelo estudo do elemento químico carbono é a química orgânica. Este elemento é capaz de ligar múltiplas vezes a si mesmo, formando cadeias, dando origem a diversos compostos químicos estruturalmente distintos.

Os compostos orgânicos formados apenas por ligações entre átomos de carbono e hidrogênio são chamados de hidrocarbonetos. Um hidrocarboneto pode ser classificado entre: alcano, alceno, alcino, alcadieno, ciclano, cicleno ou aromático. De forma simplificada, pode-se considerar que os hidrocarbonetos podem ser classificados entre alifáticos (considerando os alcanos, alcenos, alcinos, alcadienos, ciclano e ciclenos) e aromáticos (SOLOMONS; FRUHLE, 2001)

Contaminação por derivados de petróleo

Segundo a *European Environment Agency* (EEA, 2009), cerca de 50% das áreas contaminadas da Europa têm como contaminantes os óleos minerais, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) ou hidrocarbonetos aromáticos voláteis, como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX).

Quando se avalia os produtos derivados do petróleo, percebe-se que eles são na verdade uma grande mistura de substâncias químicas, de diferentes propriedades físico-químicas, e que essas propriedades estão relacionadas com o comprimento da cadeia de carbono e o número de ramificações que ela possui (PINEDO et al., 2014). Além disso, devido à grande quantidade de compostos, existem diferenças de composição mesmo naqueles produtos que são considerados os mesmos. Dessa forma, segundo a *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, não há sentido em se analisar misturas de compostos complexas, individualmente (ATSDR, 1999).

Os hidrocarbonetos de petróleo podem ser divididos em aromáticos, alcanos, alcenos e cicloalcanos, mas geralmente são divididos apenas em aromáticos e alifáticos. Os compostos aromáticos, como os BTEX, são extremamente tóxicos ao meio ambiente e à saúde humana, sendo em alguns casos, de alto potencial carcinogênico. O benzeno é o mais tóxico dos compostos aromáticos do petróleo, e vários estudos já comprovaram seu potencial cancerígeno (ANDRADE; AUGUSTO; JARDIM, 2010).

Hidrocarbonetos totais de petróleo – TPH

Os hidrocarbonetos totais de petróleo (TPH) são uma mistura de hidrocarbonetos derivados de petróleo, que variam suas propriedades físico-químicas com base nos compostos presentes nessa mistura. São utilizados como parâmetro ambiental de contaminação, principalmente no

que diz respeito à avaliação de risco à saúde humana. O método analítico que define o que é TPH atualmente é a norma ISO 16703 (2004), segundo (PINEDO et al., 2014).

A utilização do TPH como parâmetro de qualidade do solo, segundo o item 6.4.3 da norma ASTM E 1739, não é uma boa alternativa, por este ser um parâmetro genérico, uma mistura de hidrocarbonetos, e que não seria levado em consideração as características individuais de cada substância presente em sua composição (KOLESNIKOVAS; OLIVEIRA; DUARTE, 2009).

Discordando da norma ASTM E 1739, Vorhess (1999) vê a utilização de TPH como parâmetro de qualidade do solo e da água subterrânea de forma positiva. Segundo ele, por ser uma mistura de hidrocarbonetos, estariam sendo considerados não só aqueles compostos mais comuns, como o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos entre os compostos aromáticos; e antraceno, benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(K)fluoranteno, indeno(1,2,3)pireno, criseno, fenantreno, fluoranteno, fluoreno e naftaleno entre os compostos poliaromáticos, mas também toda uma gama de hidrocarbonetos, que, como dito anteriormente, podem possuir características muito distintas, mesmo quando possuem cadeias praticamente idênticas.

Pereira (2012), concluiu que o TPH é melhor parâmetro para avaliação de áreas contaminadas por derivados de petróleo do que os tradicionais parâmetros BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) e HPA (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos). Ele obteve resultados de concentrações de TPH, BTEX e HPA em 100 amostras, e em 96% delas o TPH estava acima do determinado pelo órgão ambiental, quanto apenas 13% e 11% das amostras estavam acima dos limites para o BTEX e HPA respectivamente.

Além disso, o parâmetro TPH está relacionado a substâncias orgânicas, ou seja, esses compostos podem sofrer alterações em sua composição química, devido ao intemperismo químico ou biológico. Esse intemperismo dá origem ao que pode ser chamado de metabólitos, que são substâncias derivadas de um contaminante original e que podem possuir características distintas desse contaminante (ITRC, 2018).

De forma complementar à posição de Vorhess (1999), o *Interstate Technology Regulatory Council* (ITRC, 2018) afirma que o TPH é um dos melhores parâmetros para identificação de contaminações por derivados de petróleo. Apesar disso, esse estudo frisa a importância da

determinação do método de identificação e mensuração da concentração de TPH. Segundo o estudo, o TPH é um parâmetro influenciado pelo método analítico, e por isso, dependendo da metodologia utilizada, os resultados poderão ser diferentes.

Metodologias de detecção e mensuração de TPH

Como dito anteriormente, o termo TPH é constantemente utilizado para se referir a um conjunto de componentes do petróleo, mais especificamente os hidrocarbonetos. Dessa forma, quando há contaminações por derivados de petróleo em um determinado local, é possível que se realize a medição da concentração de TPH nesse ambiente visando o gerenciamento de riscos e definição de medidas corretivas (ITRC, 2018).

Nenhuma metodologia de avaliação de TPH é absolutamente correta, inquestionável e consegue identificar todos os compostos derivados de petróleo em uma amostra contaminada. Dessa forma, é necessário que se identifique a metodologia mais confiável para que os erros sejam menores e os dados obtidos sejam mais precisos (ITRC, 2018).

Segundo o ITRC (2018) uma das metodologias de avaliação da concentração de TPH mais indicadas para realização de avaliação de risco à saúde humana é a Determinação do TPH Fracionado por Cromatografia a Gás (GC – FID: Chama ou PID – Fotoionização), desenvolvida pelo Washington State Department of Ecology (WADOE, 2002). Ela é indicada pois consegue obter amostras representativas, que podem ser analisadas para caracterizar a natureza de uma mistura de hidrocarbonetos.

Muitas metodologias de avaliação da concentração de TPH, assim como para a avaliação da concentração de diversos hidrocarbonetos, utilizam a cromatografia gasosa com ionização por chama para identificar a composição química de uma amostra. Para o TPH, a metodologia consiste na análise de todos os hidrocarbonetos presentes no intervalo das cadeias de carbono C₁₀ (n-decano) e C₄₀ (n-tetracontano). De acordo com Ávidos (2017), a cromatografia gasosa é o processo que realiza a separação de componentes de uma substância a partir da interação diferencial de seus compostos entre as fases estacionária (líquido ou sólido) e móvel (líquido ou gasoso). É necessário que haja um aumento na pressão, onde a fase móvel será carregada até a fase estacionária, onde ocorrerá a separação dos componentes da mistura.

Para a separação dos componentes e identificação, a cromatografia gasosa com ionização por chama consiste no carregamento da amostra por um gás de arraste. Essa amostra entra em

contato com uma chama de hidrogênio e oxigênio e se queima, gerando íons. Nesse momento, é aplicada uma diferença de potencial por meio de eletrodos, que faz com que os íons conduzam uma corrente elétrica, que é amplificada, gerando um sinal cromatográfico. Esse sinal é representado no cromatograma, e através dos picos representados nesse gráfico e do tempo de retenção (definido por padrões de referência e utilizado para identificação dos compostos, pois é diferente para cada um) é possível calcular a concentração das substâncias (MCNAIR; MILER, 2009).

Também existem outros parâmetros das amostras que são de extrema importância para a determinação das concentrações de TPH por cromatografia a gás, mas que variam de acordo com o software utilizado pelo equipamento (ÁVIDOS, 2017).

Na Tabela 1 abaixo podemos identificar as vantagens e desvantagens da utilização da cromatografia gasosa para a determinação da concentração de hidrocarbonetos em uma amostra.

Tabela 1: Vantagens e Desvantagens da Cromatografia Gasosa - GC.

VANTAGENS	DESvantagens
Rapidez de análise	Limitado a amostras voláteis
Alta eficiência e resolução	Não é aconselhável para amostras instáveis termicamente
Alta sensibilidade (ppb ou µg/L)	Técnica difícil de executar para amostras sólidas grandes.
Alta precisão	Elevado custo do equipamento e manutenção
Pequeno volume de amostra	

Fonte: Avidos, 2017.

Uma vez que os hidrocarbonetos são substâncias voláteis, e suas características na maioria das vezes não se enquadram nas desvantagens geralmente descritas na literatura para o método da cromatografia gasosa, é justificável a utilização desta metodologia para determinação da concentração de TPH (Avidos, 2017).

Para a mensuração do TPH e avaliação da toxicidade, existem também diversas metodologias que foram desenvolvidas e estão atualmente em uso. As metodologias mais comuns estão relacionadas com a abordagem de fracionamento do TPH em faixas de hidrocarbonetos, que pode estar relacionado com o produto original (gasolina, diesel, óleos lubrificantes, etc.) ou pela composição química (aromáticos e alifáticos), mas também existe a abordagem que considera o TPH como produto inteiro, sem realizar avaliações das substâncias que o compõe (ITRC, 2018).

De modo simples, o fracionamento do TPH ocorre pela segregação de grupos de hidrocarbonetos cuja ação no solo e na água é semelhante. Essas frações contém um número considerável de hidrocarbonetos diferentes, o que torna impraticável a medição individual de concentrações (USEPA, 2002).

A abordagem do fracionamento de TPH também pode ser realizada utilizando faixas de hidrocarbonetos relacionados à produtos já conhecidos, como por exemplo as faixas de hidrocarbonetos presentes na gasolina, no diesel ou em óleos lubrificantes. A diferença real entre os métodos está na avaliação da toxicidade dos compostos, no momento da realização da avaliação de risco à saúde humana (ITRC, 2018).

Em todas essas metodologias, é crucial a utilização da Cromatografia a Gás para identificação dos contaminantes, pois no cromatograma é possível identificar as substâncias presentes no contaminante através dos tempos de retenção e mensurá-los através dos picos representados neste gráfico (ITRC, 2018).

As metodologias que abordam o fracionamento do TPH em faixas de hidrocarbonetos, possuem variações tanto nas divisões do fracionamento, quanto na atribuição de valores de toxicidade. Em relação fracionamento, a metodologia desenvolvida pela USEPA (2009) consiste no fracionamento do TPH em faixas de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, podendo ser mais específicos dentro dessas faixas, considerando faixas de cadeias de carbono específicas, como por exemplo cadeias de baixo carbono (C5 – C8), cadeias de médio carbono (C9 – C18) e cadeias de alto carbono (C19 – C32) e a partir disso, fazer o cruzamento destes dados e obter as concentrações para o tipo (Alifático e Aromático) e a cadeia de carbono (Alto, Médio e Baixo) (USEPA, 2009).

Toxicidade

A toxicidade de uma substância está associada às características químicas dos elementos que a compõe, as quantidades e o período ao qual o indivíduo foi exposto, e é considerada a medida do potencial tóxico de uma substancia (FIOCRUZ, 2006)

A avaliação da toxicidade de uma substância ocorre através da definição da toxicidade específica para cada composto químico de interesse presente na amostra avaliada, ou seja, é o somatório dos fatores que podem causar prejuízo aos organismos vivos, de todos os elementos químicos encontrados.

Para a definição da toxicidade das faixas de TPH, uma substância constituinte de cada faixa é atribuída como sendo representante associada àquela faixa. Por exemplo, a faixa de TPH que contém hidrocarbonetos alifáticos com cadeia de carbono curta ou baixa, é representada pelo hexano comercial, ou n-hexano, de acordo com a USEPA (2020). Os demais representantes das frações de carbono podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Frações de TPH alifáticos e aromáticos e seus representantes.

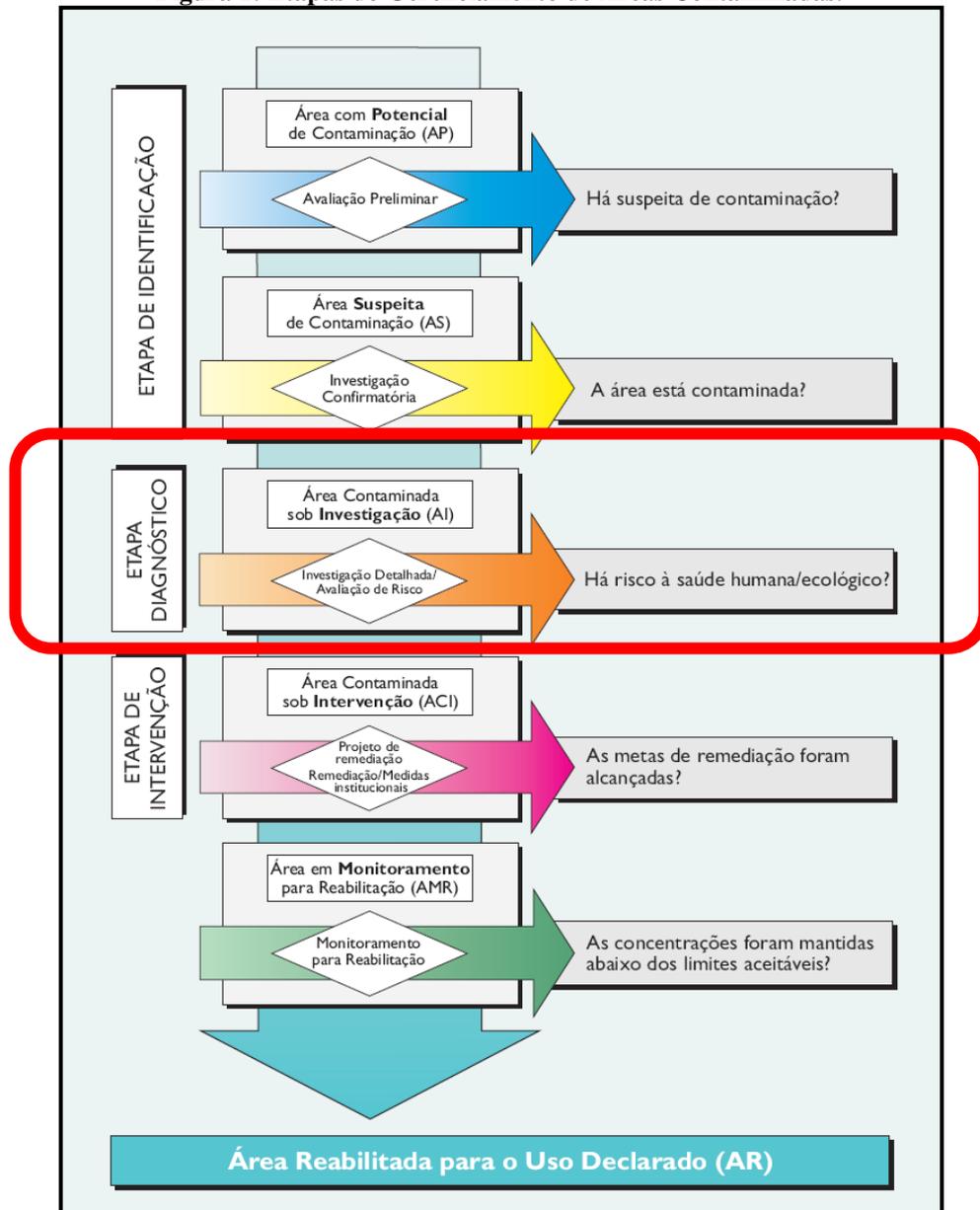
Frações de TPH	Número de Carbonos	Composto Representativo
Alifático Baixo	C5-C8	Hexano comercial (n-hexano)
Alifático Médio	C9-C18	n-nonano
Alifático Alto	C19-C32	Óleo mineral branco
Aromático Baixo	C6-C8	Benzeno
Aromático Médio	C9-C16	2-metilnaftaleno / Naftaleno
Aromático Alto	C17-C32	Fluoranteno

Fonte: USEPA (2009).

Avaliação de risco à saúde humana

Durante o processo de gerenciamento de uma área contaminada, existem etapas a serem seguidas, como demonstrado na Figura 1. Essas etapas compreendem o diagnóstico, a intervenção e a reabilitação da área em questão, que dependem do nível de informação disponível sobre a contaminação e do risco existente em cada área. A etapa responsável por determinar se uma área contaminada por ou não oferecer riscos à saúde humana, baseado em suas características e nas características do contaminante é a etapa de diagnóstico, onde é realizada a Avaliação de Risco à Saúde Humana (MINAS GERAIS, 2010).

Figura 1: Etapas do Gerenciamento de Áreas Contaminadas.



Fonte: FEAM, 2018.

A etapa inicial no gerenciamento de áreas contaminadas é a Avaliação Preliminar. Esta avaliação é realizada nas áreas que possuem um Potencial de Contaminação, devido à atividade exercida na área, ou à indícios de contaminação. A seguir, deve ser realizada a Investigação Conformatória, que é um estudo mais aprofundado da área, contemplando coletas de amostras de solo e água subterrânea para análise em laboratórios. Confirmada a contaminação, é necessário avançar para a próxima etapa, que é a Investigação Detalhada. Nela será determinada toda a extensão da contaminação e as plumas de contaminantes (CETESB, 2013).

Todas as etapas até a Investigação Detalhada têm como objetivo reunir informações sobre a contaminação das áreas de forma a subsidiar a próxima etapa no gerenciamento, que é a Avaliação de Risco à Saúde Humana. No Estado de Minas Gerais a avaliação de risco à saúde humana ocorre junto à etapa de Investigação Detalhada, e que pretende avaliar o risco à saúde humana causado pela exposição de receptores a substâncias químicas presentes no solo, na água subterrânea, superficial, sedimentos e na atmosfera. Após essa etapa, com os resultados da avaliação de risco em mãos, os responsáveis pelo gerenciamento da área em investigação poderão determinar medidas de intervenção que serão implantadas (FERNANDES, 2011).

As metodologias de avaliação de risco são baseadas em três componentes principais, que são as substâncias contaminantes perigosas, os receptores, e os vetores ou vias de exposição, que são os modos com que os receptores têm contato com as substâncias contaminantes. Elas também possuem três fases: a formulação do problema, em que devem ser definidos os componentes do risco à saúde humana, citados anteriormente, além do levantamento e análise dos dados referentes ao empreendimento e sua área de influência; a análise do risco, em que deve ser realizado um modelo conceitual que identifique todos os componentes químicos relevantes à avaliação e suas características (físico-químicas, toxicológicas, periculosidade da substância, mobilidade, concentrações no meio e vias de exposição); e a caracterização do risco, que está relacionada com a quantificação do risco à saúde dos receptores (KOLESNIKOVAS; OLIVEIRA; DUARTE, 2009).

Como dito anteriormente, para a execução da avaliação de risco à saúde humana é necessário que se obtenha dados referentes às vias de exposição dos indivíduos aos contaminantes, que pode ser pelo solo, pela água (no caso de derramamento de contaminantes em corpos hídricos superficiais ou lixiviação dos contaminantes para as águas subterrâneas) ou por sedimentos. A exposição dos indivíduos pode ocorrer por contato direto (dérmico), por inalação dos compostos voláteis devido à exposição do contaminante à atmosfera (contaminação superficial) e ingestão (água contaminada ou consumo de produtos contaminados, por exemplo vegetais cultivados em solos contaminados) (ITRC, 2018).

Além disso, também devem ser consideradas as características dos contaminantes, quais substâncias estão inseridas no ambiente em análise, suas características físico-químicas e sua toxicidade. Esses fatores são de extrema importância, pois são eles que determinarão quais medidas de remediação deverão ser tomadas, além de dar base para a determinação de valores de concentração que oferecem risco à saúde humana (CORREA, 2017).

Avaliação de risco à saúde humana por TPH

No caso de contaminações por derivados de petróleo, a avaliação das características dos contaminantes se faz extremamente necessária, uma vez que essas substâncias, ao serem inseridas no meio ambiente podem ter suas características alteradas devido ao processo de intemperismo químico ou biológico (ITRC, 2018).

Esse processo é chamado de degradação e está associado à oxidação do hidrocarboneto, que dá origem aos metabólitos. Os metabólitos são compostos produto dessa degradação, que são polares e, por isso, mais solúveis em água. Além disso, o processo de degradação, por alterar a estrutura química dos compostos, também alteram a toxicidade destes. Desta forma, é de extrema importância que se considere o processo de degradação durante uma avaliação de risco à saúde humana, pois os compostos que estarão presentes na massa de contaminantes provavelmente não serão os mesmos contaminantes originais (ITRC, 2018).

A aplicação do modelo de avaliação de risco à saúde humana para o TPH exige algumas considerações. Por ser uma mistura de substâncias e compostos, o TPH possui características diferentes, a depender da atividade fonte de contaminação. A maior parte dos derivados de petróleo, como a gasolina, o diesel e os óleos lubrificantes, têm a característica de serem compostas por diversas outras substâncias. Isso faz com que, dependendo da concentração desses compostos, as características do TPH sejam diferentes (MICHELS, 2005).

Para a execução da avaliação de risco à saúde humana, independente do modelo utilizado, é necessária a definição de parâmetros toxicológicos para os contaminantes investigados. Como dito anteriormente, o TPH é um parâmetro que possui variações em suas características, dependendo do produto contaminante original, do meio contaminado e do tempo que o contaminante foi liberado no ambiente. Dessa forma, diferentes tipos de contaminação demandarão diferentes fatores toxicológicos no momento da avaliação de risco à saúde humana (OKLAHOMA DEQ, 2004).

O TPH é um parâmetro que consiste em uma mistura de substâncias químicas derivadas do petróleo, tendo como característica a alteração de suas propriedades em diferentes áreas contaminadas. Essa variação está relacionada ao tipo de contaminante, que varia a composição da mistura de hidrocarbonetos. Essa variação faz com que seja difícil a avaliação dos efeitos à saúde humana, considerando apenas um parâmetro, por isso, a metodologia de avaliação deve considerar os parâmetros toxicológicos para frações de TPH que levem em

consideração características químicas similares, e que produzem efeitos similares à saúde humana (USEPA, 2009).

Observa-se, ainda, que durante o gerenciamento de uma área contaminada por derivados de petróleo, é necessário que se avalie também a concentração das substâncias químicas derivadas do petróleo que conhecidamente causam câncer. Isso porque, a maior parte das substâncias químicas derivadas do petróleo que conhecidamente causam câncer já são reguladas pela maior parte dos órgãos ambientais, e por isso, considerar o potencial carcinogênico das frações de TPH pode ser considerado excessivamente conservador (USEPA, 2020).

Planilha de avaliação de risco à saúde humana da CETESB

Embora existam alguns softwares comerciais para avaliação de risco à saúde humana disponíveis no mercado, como o *RBCA Toolkit* e o *Risk5*, a CETESB desenvolveu sua própria ferramenta para avaliação do risco à saúde humana, a Planilha CETESB, que teve como base o procedimento descrito no RAGS – Risk Assessment Guidance for Superfund – Volume I – Human Health Evaluation Manual (Part A) (USEPA, 1992).

A planilha é disponibilizada gratuitamente pela CETESB através de seu sítio eletrônico (<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/planilhas-para-avaliacao/>) e é utilizada por diversos órgãos ambientais no Brasil para avaliação de risco à saúde humana em áreas contaminadas. Entretanto, essa planilha não contempla o parâmetro TPH como uma das substâncias avaliadas. O modelo utilizado para o desenvolvimento da planilha, realiza a avaliação de risco à saúde humana através da inserção de diversos parâmetros de exposição, parâmetros relacionados ao solo e água subterrânea da área avaliada e parâmetros físico-químicos dos contaminantes, além dos parâmetros toxicológicos destes.

METODOLOGIA

Diante da ausência de valores orientadores para o TPH em solos e água subterrânea de Minas Gerais, o trabalho iniciou-se com a avaliação do modelo mais adequado para a avaliação dos valores de investigação para o TPH em Minas Gerais. Dessa forma, seguiu-se o determinado por Fernandes (2011), que utilizou o modelo de avaliação de risco à saúde humana da CETESB para a determinação de valores orientadores para metais-traço no Estado de Minas Gerais. O modelo de avaliação de risco da CETESB é um dos modelos mais utilizados pelos principais órgãos ambientais do Brasil, como a própria CETESB e a FEAM, além de ter sido desenvolvido com base na metodologia desenvolvida pela USEPA.

O modelo de avaliação de risco à saúde humana da CETESB foi desenvolvido no aplicativo Excel, em forma de planilhas. As planilhas de avaliação de risco à saúde humana da CETESB são disponibilizadas gratuitamente, no site da CETESB.

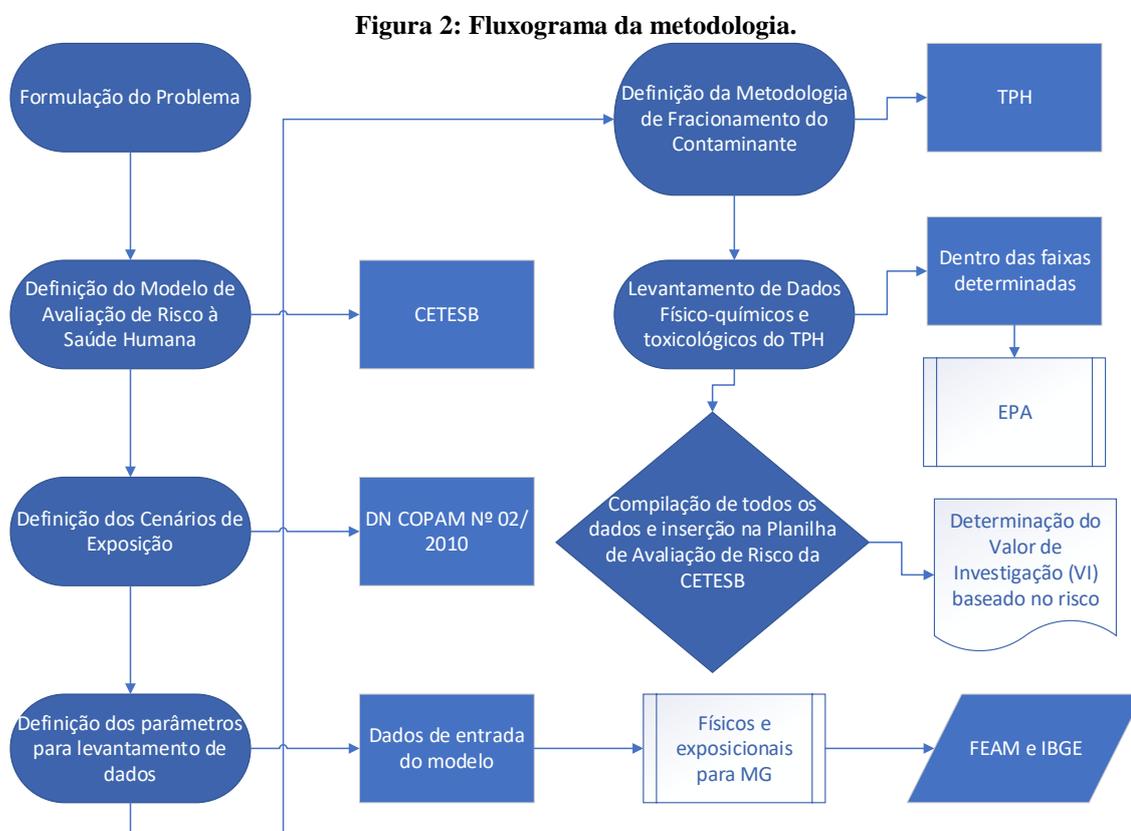
As planilhas da CETESB foram desenvolvidas utilizando dados do meio físico e dados exposicionais do Estado de São Paulo, dessa forma, os cenários de exposição considerados no modelo também foram definidos para este Estado. No presente trabalho, os cenários de exposição considerados foram aqueles determinados na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010.

Para a aplicação do modelo, foi necessário definir quais os parâmetros de entrada do modelo poderiam ser modificados, baseado na disponibilidade destes dados para o Estado de Minas Gerais. Assim, foram levantados os parâmetros do meio físico e exposicionais de Minas Gerais.

Em seguida, foi realizada extensa pesquisa bibliográfica a respeito do TPH, para a definição dos parâmetros físico-químicos e toxicológicos que seriam utilizados no modelo de avaliação de risco à saúde humana. Estes parâmetros foram definidos, e a partir deste momento, com todos os parâmetros levantados, o modelo de avaliação de risco à saúde humana foi modificado, de forma a se derivar os valores orientadores para o TPH em Minas Gerais.

Definidos os valores, como o TPH é um parâmetro definido pelo método, é difícil comparar de forma satisfatória, valores de TPH que foram obtidos utilizando diferentes métodos. Por isso, foram utilizados, para efeito de comparação, os valores de investigação definidos pela USEPA.

A Figura 2 representa o fluxograma da metodologia, que é a ordem em que cada etapa foi realizada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Descrição do modelo de avaliação de risco à saúde humana

Para a determinação de valores orientadores para os hidrocarbonetos totais de petróleo no Estado de Minas Gerais, é necessário que se aplique um modelo de avaliação de risco à saúde humana, levando em consideração os parâmetros toxicológicos e propriedades dos contaminantes, as vias de exposição, e também os parâmetros do meio físico e de uso e ocupação do solo no Estado.

A metodologia escolhida para efetuar a avaliação de risco no Estado de Minas Gerais é a planilha de avaliação de risco à saúde humana desenvolvida pela CETESB, que tem como base o modelo da USEPA (1989). Essa planilha foi utilizada no Estado de São Paulo para a determinação dos valores de referência de concentração de substâncias químicas no solo e na água subterrânea do Estado.

A planilha desenvolvida pela CETESB e o próprio modelo de avaliação de risco à saúde humana desenvolvido pela USEPA (1989), prevê a realização das seguintes etapas:

- Formulação do problema;
- Identificação e seleção dos contaminantes: neste trabalho, a avaliação de risco será realizada afim de se determinar valores orientadores para o TPH;
- Identificação das vias de exposição;
- Identificação dos Receptores Potenciais: no Estado de Minas Gerais, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010 estabelece Valores de Investigação para as substâncias químicas em três tipos de cenários genéricos: Agrícola, Residencial e Industrial. As planilhas utilizadas neste trabalho consideram os receptores Residentes em Áreas Rurais, Residentes em Áreas Urbanas, e Trabalhadores de Áreas Comerciais/Industriais.
- Desenvolvimento de um Modelo Conceitual, como por ser observado na Figura 3:

		MODELO CONCEITUAL DE EXPOSIÇÃO							
		MEIO FÍSICO	VIAS DE INGRESSO			TRABALHADOR COMERCIAL E INDUSTRIAL			
						ADULTO			
						RECEPTOR NA FONTE	RECEPTOR FORA DA FONTE		
CAMINHOS DE EXPOSIÇÃO	SOLO	SUPERFICIAL	CONTATO DIRETO	INALAÇÃO	VAPORES	<input type="checkbox"/>	NÃO APLICÁVEL		
					PARTÍCULAS	<input type="checkbox"/>			
					CONTATO DÉRMICO	<input type="checkbox"/>			
					INGESTÃO	<input type="checkbox"/>			
					INGESTÃO DE VEGETAIS	NÃO APLICÁVEL			
		SUBSUPERFICIAL		INALAÇÃO	AMBIENTES ABERTOS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
					AMBIENTES FECHADOS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
					INGESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA A PARTIR DA LIXIVIAÇÃO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
	ÁGUA	SUBTERRÂNEA		INALAÇÃO	AMBIENTES ABERTOS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
					AMBIENTES FECHADOS	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
					USO IRRESTRITO	CONTATO DIRETO	CONTATO DÉRMICO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
							INGESTÃO	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	SUPERFICIAL	RECREAÇÃO	INALAÇÃO		<input type="checkbox"/>	NÃO APLICÁVEL			
			INGESTÃO		<input type="checkbox"/>				
			CONTATO DÉRMICO		<input type="checkbox"/>				
SEDIMENTO			INGESTÃO		<input type="checkbox"/>	NÃO APLICÁVEL			
			CONTATO DÉRMICO		<input type="checkbox"/>				

Figura 3: Modelo Conceitual de Exposição para Solo ou Água Subterrânea Contaminada em Área Industrial. Fonte: CETESB, 2020 (ADAPTADO).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009, o nível tolerável de risco à saúde humana para Substâncias Carcinogênicas é de 10^{-5} , ou seja, é a probabilidade de ocorrência de

um caso de câncer em uma população de 100.000 indivíduos. Já para as substâncias Não Carcinogênicas, o nível tolerável de risco à saúde humana, que é chamado neste caso de Quociente de Perigo, é de no máximo 1, e é a razão entre a dose ingresso específica de uma determinada substância e a dose de referência. Estes são os valores de risco que serão adotados como limite neste trabalho e que foram utilizados pela CETESB durante a determinação dos Valores Orientadores de substâncias químicas no solo e na água subterrânea no Estado de São Paulo (CETESB, 2009).

É importante lembrar que o cálculo para o risco leva em consideração não apenas a concentração das substâncias às quais os indivíduos estão expostos, mas também as rotas e os cenários de exposição. Por isso, a CETESB realiza o cálculo do risco para cada via de exposição em um mesmo receptor, individualmente, para depois realizar o cálculo do risco total, através do somatório dos riscos (CETESB, 2009).

Para as substâncias carcinogênicas, o cálculo do risco no modelo é dado pela Equação 1.

$$\text{Equação 1: } \text{Risco} = \text{DIn} * \text{FC}$$

Onde:

DIn = dose de ingresso para o cenário “n” (em mg* kg⁻¹ *dia⁻¹);

FC = fator de carcinogenicidade (em mg* kg⁻¹ *dia⁻¹);

Já a Dose de Ingresso (DI) pode ser calculada por meio da Equação 2:

$$\text{Equação 2: } \text{DIn} = \text{C} * \left(\frac{\text{TC} * \text{FE} * \text{DE}}{\text{MC} * \text{TA}} \right)$$

Onde:

C = Concentração de contaminante no solo (mg*kg⁻¹) ou água subterrânea (µg*kg⁻¹);

TC = taxa de contato para uma determinada via de exposição (em mg*kg⁻¹ para solo e µg*kg⁻¹ para água subterrânea);

FE = frequência de exposição (em dia*ano⁻¹);

DE = duração da exposição (em ano);

MC = massa corpórea (em Kg);

TA= tempo médio da avaliação de exposição;

Substituindo a Equação 2 na Equação 1 obtém-se:

$$\text{Equação 3: } Risco = C * \left(\frac{TC * FE * DE}{MC * TE} \right) * FC$$

Considerando o disposto na Resolução CONAMA nº 420/2009 Art. 6º:

(...) XIV - Nível Tolerável de Risco à Saúde Humana, para Substâncias Carcinogênicas: probabilidade de ocorrência de um caso adicional de câncer em uma população exposta de 100.000 indivíduos; (...)

Substituindo-se o valor do risco aceitável de $Risco = 10^{-5}$ na Equação 3, pode-se obter a concentração máxima aceitável (C), que neste trabalho será considerada como o Valor de Investigação (VI) para as substâncias carcinogênicas.

$$\text{Equação 4: } VI = \left(\frac{10^{-5} * MC * TA}{TC * FE * DE * FC} \right)$$

Para a obtenção do valor de investigação para substâncias carcinogênicas por múltiplas exposições, ou seja, mais de uma via de exposição, utiliza-se a Equação 5:

$$\text{Equação 5: } VI = \frac{10^{-5}}{\left(\frac{TC_x * FE * DE * FC}{MC * TA} \right) + \left(\frac{TC_y * FE * DE * FC}{MC * TA} \right) + \dots + \left(\frac{TC_n * FE * DE * FC}{MC * TA} \right)}$$

Em relação às substâncias não carcinogênicas, o risco, nesse caso chamado de quociente de perigo (QP) pode ser calculado por meio da razão entre a dose de ingresso (DIn) e a dose de referência (DR), demonstrado pela Equação 6:

$$\text{Equação 6: } QP = \frac{C * \left(\frac{TC * FE * DE}{MC * TA} \right)}{DR}$$

Substituindo-se o valor do quociente de perigo aceitável (risco aceitável) de $QP=1$ na Equação 6 pode-se obter a concentração máxima aceitável (C), que neste trabalho será considerada como o Valor de Investigação (VI) para as substâncias não carcinogênicas.

$$\text{Equação 7: } VI = 1 * DR * \left(\frac{MC * TA}{TC * FE * DE} \right)$$

Assim como para as substâncias carcinogênicas, para o estabelecimento dos valores de investigação de substâncias não carcinogênicas quando se considera múltiplas vias de exposição, obtém-se a equação:

$$\text{Equação 8: } VI = \frac{1}{\left(\frac{TC_x * FE * DE}{MC * TA}\right) + \left(\frac{TC_y * FE * DE}{MC * TA}\right) + \dots + \left(\frac{TC_n * FE * DE}{MC * TA}\right)}$$

As vias de exposição, como pode ser observado no modelo conceitual descrito na Figura 3 (página 29) e as equações para o cálculo dos valores orientadores por via de exposição, podem ser observados na Tabela 3:

Tabela 3: Equações para cálculo dos VI's para cada via de exposição para compostos não carcinogênicos no solo.

CENÁRIO DE EXPOSIÇÃO	EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DO VI
Inalação por vapores provenientes do solo superficial:	$VI = 1 * DR * \left(\frac{MC * TA * 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{ano}} \right) * 10^{-3} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} \right)}{TIar * FE * DE * \left(\frac{1}{FV_{\text{solo.amb}}} \right)} \right)$
Inalação de partículas provenientes do solo superficial:	$VI = 1 * DR * \left(\frac{MC * TA * 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{ano}} \right) * 10^{-3} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} \right)}{TI_{\text{solo}} * FE * DE * FI * TE \left(\frac{1}{FEP} \right)} \right)$
Contato dérmico a partir do solo superficial	$VI = 1 * DR * \left(\frac{MC * TA * 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{ano}} \right) * 10^{-3} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} \right)}{SP * FE * DE * FA * ABSd * FD * 1 * 10^{-6} \left(\frac{\text{kg}}{\text{mg}} \right)} \right)$
Ingestão de solo superficial	$VI = 1 * DR * \left(\frac{MC * TA * 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{ano}} \right) * 10^{-3} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} \right)}{TI_{\text{solo}} * FE * DE * FI * TE \left(\frac{1}{FEP} \right)} \right)$
Ingestão de vegetais	$VI = 1 * DR * \left(\frac{MC * TA * 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{ano}} \right) * 10^{-3} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} \right)}{TI_{\text{veg}} * FE * DE * FI * TE \left(\frac{1}{BCF} \right)} \right)$
Inalação de vapores provenientes de solo subsuperficial em ambientes abertos	$VI = 1 * DR * \left(\frac{MC * TA * 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{ano}} \right) * 10^{-3} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} \right)}{TI_{\text{esp}} * FE * DE * 10^{-3} * \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} \right) \left(\frac{1}{FV_{\text{solo.amb}}} \right)} \right)$
Inalação de vapores provenientes de solo subsuperficial em ambientes fechados	$VI = 1 * DR * \left(\frac{MC * TA * 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{ano}} \right) * 10^{-3} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} \right)}{TI_{\text{esp}} * FE * DE * 10^{-3} * \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} \right) \left(\frac{1}{FV_{\text{solo.esp}}} \right)} \right)$
Ingestão de água subterrânea a partir de lixiviação do solo subsuperficial	$VI = 1 * DR * LDF \left(\frac{MC * TA * 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{ano}} \right) * 10^{-3} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mg}} \right)}{TI_{\text{solo}} * FE * DE * Ksw} \right)$

Fonte: CETESB, 2009.

Onde:

VI – Valor Orientador (mg.kg-1); **DR** – Dose de Referência (mg.kg-1.dia-1); **MC** – Massa Corpórea (kg); **TA** – Tempo Média de Avaliação de Exposição (anos); **TIar** – Taxa de Ingestão de Ar para Ambiente Fechados ou Abertos (m³.dia-1); **FE** – Frequência de Exposição (dias.ano-1); **DE** – Duração de Exposição (anos); **FV_{solo.amb}** – Fator de Volatilização do Solo Superficial para o Ar (gsolo.cm-3ar); **FI** – Fração Ingerida da Fonte de Contaminação (adimensional); **TE** – Tempo de Exposição (horas.dia-1); **FEP** – Fator de Emissão de Partículas (adimensional); **SP** – Superfície da Pele para Contato Disponível para Contato (cm².dia-1); **AF** – Fator de Aderência do Solo na Pele (mg.cm-2); **ABSd** – Fator de Absorção Relativa Dérmica; **FD** – Fração da Fonte em Contato Dérmico; **TI_{veg}** – Taxa de Ingestão de Vegetais (mg.dia-1); **BCF** – Fator de Bioconcentração; **TI_{esp}** – Taxa de inalação diária em ambientes fechados (m³.hora⁻¹); **FV_{solo.esp}** – Fator de Volatilização do Solo Subsuperficial para o Ar em Ambiente Fechados (gsolo.cm-3ar); **LDF** – Fator de Diluição Pela Lixiviação para Água Subterrânea (adimensional); **Ksw** – Fator de Partição Fase Retida Água Intersticial do Solo.

Tabela 4: Equações para cálculo dos VI's para cada via de exposição para compostos não carcinogênicos na água subterrânea

CENÁRIO DE EXPOSIÇÃO	EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DO VI
Inalação de vapores em ambiente abertos:	$VI = 1 * DR * \left(\frac{MC * TA * 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{ano}} \right)}{Tl_{\text{aber}} * FE * DE * TE_{\text{ivaa}}} \right)$
Inalação de vapores em ambiente fechados.	$VI = 1 * DR * \left(\frac{MC * TA * 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{ano}} \right)}{Tl_{\text{fech}} * FE * DE * TE_{\text{ivaf}}} \right)$
Contato dérmico.	$VI = 1 * DR * \left(\frac{MC * TA * 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{ano}} \right)}{SP * FE * DE * TE_{\text{cdas}}} \right)$
Ingestão.	$VI = 1 * DR * \left(\frac{MC * TA * 365 \left(\frac{\text{dias}}{\text{ano}} \right)}{Tl_{\text{a}} * FE * DE} \right)$

Fonte: CETESB, 2009.

Onde:

VI – Valor Orientador ($\mu\text{g.kg}^{-1}$); **DR** – Dose de Referência ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{dia}^{-1}$); **MC** – Massa Corpórea (kg); **TA** – Tempo Média de Avaliação de Exposição (anos); **Tl_{fech}** – Taxa de Inalação diária em Ambientes Fechados ($\text{m}^3.\text{hora}^{-1}$); **Tl_{aber}** – Taxa de Inalação diária em Ambientes Abertos ($\text{m}^3.\text{hora}^{-1}$); **TE_{ivaa}** - Tempo de Exposição para inalação de vapores em ambientes abertos (horas.dia^{-1}); **TE_{ivaf}** - Tempo de Exposição para inalação de vapores em ambientes fechados (horas.dia^{-1}); **SP** – Superfície da Pele para Contato Disponível para Contato ($\text{cm}^2.\text{dia}^{-1}$); **TE_{cdas}** - Tempo de Exposição para contato dérmico com água subterrânea (horas.dia^{-1}); **Tl_a** - Taxa de ingestão diária de água (L.dia^{-1}).

As equações utilizadas no modelo de avaliação de risco deste trabalho contemplam apenas os efeitos não cancerígenos à saúde humana, uma vez que, de acordo com a USEPA (2020), a maior parte dos compostos derivados de petróleo que podem causar câncer já são contemplados individualmente nas legislações. De acordo com esta agência, considerar os riscos de câncer durante uma avaliação de risco à saúde humana de TPH é excessivamente conservador.

Os fatores de transporte e atenuação natural de contaminantes, necessários para a avaliação de risco à saúde humana e determinação dos valores orientadores, são:

- Coeficiente de Difusão Efetiva;
- Fator de Partição Fase Retida-Água Intersticial do Solo;
- Fator de Diluição pela Lixiviação para Água Subterrânea;
- Fator de Emissão de Particulados do Solo.

Estes parâmetros foram calculados a partir de equações disponíveis nas planilhas de avaliação de risco à saúde humana da CETESB, e essas equações não foram alteradas para a derivação dos valores orientadores deste trabalho.

Toxicidade para o TPH

O fator toxicológico para o composto TPH é alvo de bastante discussão na literatura, uma vez que, por ser um composto que possuem várias substâncias em sua composição, suas propriedades e características diferem bastante.

Inicialmente, foi determinado que a metodologia mais adequada para caracterização do composto TPH é a metodologia de Cromatografia Gasosa com fracionamento do TPH em Alifático e Aromático, com cadeia de carbono alta, baixa ou média, ou seja, Alifático Alto, Alifático Médio e Alifático Baixo e Aromático Alto, Aromático Médio e Aromático Baixo, metodologia esta que foi desenvolvida pela USEPA (2009).

Para a determinação dos valores orientadores, é necessário que se obtenha os parâmetros químicos e toxicológicos para o TPH. Para isso, foram utilizados dados toxicológicos disponibilizados pela USEPA, por meio de planilhas em seu sítio eletrônico atualizados em maio de 2020.

Com todos os dados obtidos, foi elaborada uma planilha no aplicativo Excel, baseada nas planilhas utilizadas atualmente pela CETESB, que foram instituídas pela Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007. Essa planilha será a base onde as equações do modelo utilizarão os parâmetros que foram levantados tanto do meio físico quanto do próprio contaminante, e que foram inseridos nessa planilha, para assim calcular o risco e determinar os valores orientadores.

Levantamento de dados

A metodologia de realização do trabalho se baseou na dissertação de mestrado de Fernandes (2011), que realizou a determinação de valores orientadores para metais no Estado de Minas Gerais.

Para a caracterização do meio físico do Estado de Minas Gerais, foram utilizados dados correspondentes à relatórios de estudos ambientais recebidos pela Gerência de Áreas Contaminadas da Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais (FEAM) entre os anos de 2018 e 2020. Os dados foram obtidos através da plataforma SEI – Sistema Eletrônico de Informação, no acesso público. O SEI é uma ferramenta que foi desenvolvida pelo Tribunal Regional Federal da 4ª Região (TRF-4), e que começou a ser utilizado pela

Gerência de Áreas Contaminadas da FEAM em 2018, e por isso, os dados utilizados dataram deste período.

Entre os relatórios consultados destacam-se os estudos de Investigação Confirmatória, Investigação Detalhada, Avaliação de Risco à Saúde Humana, Monitoramento Para Reabilitação e Monitoramento de Sistemas de Remediação. Nestes relatórios os parâmetros obtidos foram: profundidade do nível d'água subterrâneo [m]; gradiente hidráulico [cm.cm⁻¹]; porosidade total [m³.m⁻³]; porosidade efetiva [m³.m⁻³]; e condutividade hidráulica [cm.s⁻¹].

As equações descritas na Tabela 5 estão relacionadas à parâmetros necessários ao modelo de avaliação de risco à saúde humana, e suas variáveis são exatamente os parâmetros obtidos por meio dos relatórios da FEAM.

Tabela 5: Parâmetros calculados.

Parâmetros	Equação
Velocidade de Darcy (cm.dia ⁻¹)	$U_{gw} = K * i$
Velocidade de escoamento (cm.dia ⁻¹)	$V_{es} = U_{gw} / \theta_{ef}$
Espessura da zona não saturada (cm)	$H_v = L_{gw} - h_{cap}$
Conteúdo volumétrico de água da franja capilar	$\theta_{wcap} = \theta_t * 0,9$
Conteúdo volumétrico de ar na franja capilar	$\theta_{acap} = \theta_t * 0,1$
Conteúdo volumétrico de água na zona não saturada	$\theta_{ws} = \theta_t * 0,39$
Conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada	$\theta_{as} = \theta_t - \theta_{ws}$

Fonte: Fernandes, 2011.

Onde:

U_{gw} – velocidade de Darcy; K – condutividade hidráulica; i – gradiente hidráulico; V_{es} – velocidade de escoamento; θ_{ef} – porosidade efetiva; H_v – espessura da zona não saturada; L_{gw} – profundidade do nível d'água; h_{cap} – espessura da franja capilar; θ_{wcap} – conteúdo volumétrico de água da franja capilar; θ_t – porosidade total; θ_{acap} – conteúdo volumétrico de ar da franja capilar; θ_{ws} – conteúdo volumétrico de água na zona não saturada; θ_{as} – conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada.

Para a obtenção dos valores orientadores a partir do modelo de avaliação de risco utilizado, são necessários dados referentes aos parâmetros posicionais dos receptores, dessa forma, os resultados obtidos podem ser representativos de uma população. Para isso, foram utilizados estudos do IBGE, como Pesquisa de Orçamentos Familiares: 2008 – 2009: Aquisição Alimentar Domiciliar Per Capita e Antropometria e Estado Nutricional de Crianças, Adolescentes e Adultos no Brasil (IBGE, 2010).

Alguns parâmetros posicionais não puderam ser levantados para o Estado de Minas Gerais, e por isso foram utilizados aqueles que a CETESB determina em seu modelo de avaliação de risco à saúde humana.

Os parâmetros físico-químicos para o TPH foram obtidos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, assim como os parâmetros toxicológicos. Os parâmetros obtidos foram: peso molar, parâmetros de volatilidade, ponto de fusão, densidade, difusividade no ar e na água, coeficiente de partição e solubilidade em água.

Valores de Investigação

Para a obtenção dos valores de investigação para o TPH, foram realizados os cálculos considerando os cenários de uso e ocupação do solo determinados atualmente pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010 que são agrícola, residencial e industrial. Para os cálculos foram considerados apenas os receptores na área da fonte de contaminação, não considerando exposição fora da área contaminada, uma vez que o objetivo é a derivação de valores orientadores de investigação (Fernandes, 2011).

Foram realizados cálculos considerando dois cenários:

1. Apenas as vias de exposição de contato direto (solo superficial): inalação de vapores e partículas, contato dérmico, ingestão de solo e ingestão de vegetais;
2. Todas as vias de exposição.

A escolha do cenário considerando todas as vias de exposição é considerada mais conservadora, uma vez que os resultados obtidos serão mais restritivos por considerar mais vias de exposição às quais os receptores estão sujeitos. A consideração das vias de exposição de contato direto está relacionada com a definição utilizada pela USEPA (2020), que, na determinação dos valores de investigação (*screening levels*) considera apenas as vias de exposição de contato direto, pois considera excessivamente restritivo a consideração de todas as vias de exposição.

Os cálculos foram realizados pelo autor por meio de planilhas desenvolvidas no aplicativo Excel, a partir das planilhas de avaliação de risco à saúde humana disponibilizadas pela CETESB em seu site eletrônico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Parâmetros do meio físico

De acordo com os dados obtidos durante a avaliação dos relatórios da Gerência de Áreas Contaminadas da FEAM, foram levantados dados de 175 áreas contaminadas no Estado de Minas Gerais. Destas áreas, foram obtidos dados de profundidade do nível d'água em 172 áreas, gradiente hidráulico em 51 áreas, porosidade total em 22 áreas, porosidade efetiva em 55 áreas e condutividade hidráulica em 65 das 175 áreas. Os dados utilizados no modelo de avaliação de risco é a média dos dados obtidos para cada parâmetro, como pode ser observado na Tabela 6. Os dados completos estão disponíveis no Apêndice I.

Tabela 6: Parâmetros do meio físico.

Parâmetros	Nº de dados	Mínimo	Máximo	Média
Profundidade do nível d'água (m)	172	1,04	35,61	6,80
Gradiente hidráulico (cm.cm ⁻¹)	51	0,0039	0,48	0,063
Porosidade total (m ³ .m ⁻³)	22	0,285	0,67	0,4272
Porosidade efetiva (m ³ .m ⁻³)	55	0,018	0,26	0,0851
Condutividade hidráulica (cm.dia ⁻¹)	65	0,0033	116,64	13,93

Fonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM.

Em relação aos dados do projeto Solos de Minas, este realizou amostragem em 592 pontos do Estado de Minas Gerais, disponibilizando dados de 445 pontos referentes à densidade do solo e teor de carbono orgânico. Para o cálculo dos valores de investigação para o TPH, foram utilizadas as médias destes dados no modelo de avaliação de risco. Os dados obtidos junto ao projeto Solos de Minas podem ser observados na Tabela 7.

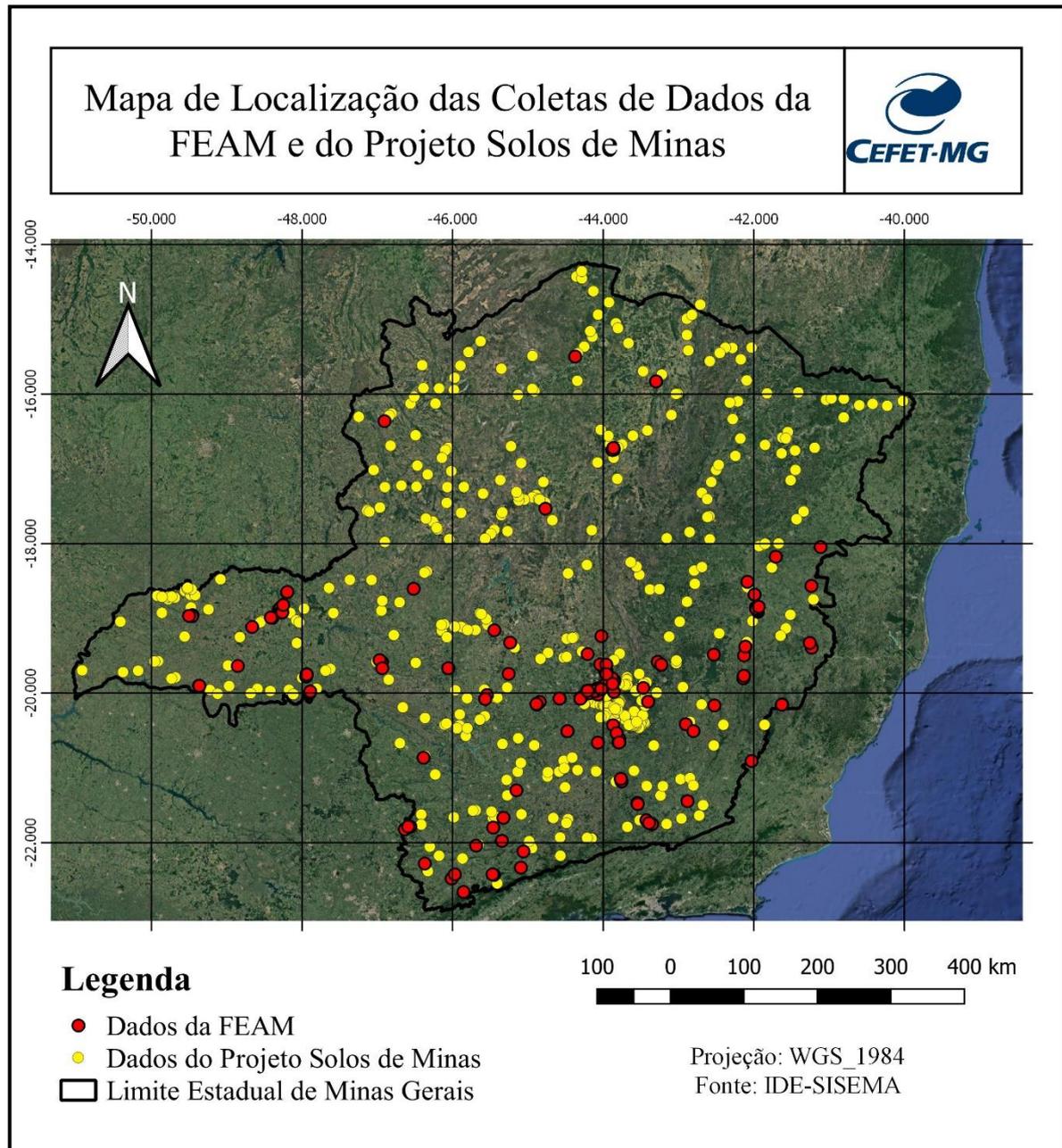
Tabela 7: Parâmetros do solo.

Parâmetros	Nº de dados	Mínimo	Máximo	Média
Densidade do solo (g.cm ⁻¹)	445	1,5600	1,7700	1,6000
Teor de carbono orgânico (g.g ⁻¹)	445	0,0010	0,0320	0,0027

Fonte: Projeto Solos de Minas.

A localização das áreas contaminadas cujos relatórios forneceram dados para o trabalho, bem como a localização dos pontos amostrados no projeto Solos de Minas, podem ser observadas na Figura 4.

Figura 4: Mapa de localização dos pontos amostrados no projeto Solos de Minas e localização das áreas referentes aos dados coletados na FEAM.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Em relação aos dados obtidos do parâmetro profundidade do nível d'água, Fernandes (2011), que também realizou levantamento de dados para o Estado de Minas Gerais, obteve um valor médio de 4,8 metros de profundidade do nível d'água. A diferença entre os valores obtidos neste trabalho e os valores obtidos por Fernandes (2011) podem estar associados à diferença de localização dos pontos amostrados, uma vez que a dimensão territorial do Estado de Minas Gerais é grande, apresentando grandes variações nos tipos de solo, e conseqüentemente na profundidade dos níveis d'água. O valor adotado pela CETESB no modelo de avaliação de

risco para a profundidade do nível d'água 4,5 metros. Este valor é representativo do Estado de São Paulo.

Em relação ao gradiente hidráulico, este pode ser definido como o declive do lençol freático (que pode ser apresentado pelo ângulo formado, ou pela porcentagem de declividade) em relação a dois pontos definidos (posição e altimetria) (CPRM, 2014). A CETESB adota em seu modelo de avaliação de risco à saúde humana o valor de $0,05 \text{ cm.cm}^{-1}$, que é o mesmo valor obtido por Fernandes (2011) para o Estado de Minas Gerais.

Em relação à porosidade total, os valores obtidos neste trabalho, de $0,4272 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$, foram semelhantes aos adotados pela CETESB no Estado de São Paulo, que é de $0,46 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$. Rosa (2016), que realizou estudo de caracterização física do solo das regiões Noroeste e Alto Paranaíba, em Minas Gerais, obteve resultados de porosidade total que variam entre 0,17 e $0,38 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$, em diferentes tipos de solo. Fernandes (2011), que também realizou levantamento de dados para Minas Gerais através de relatórios da FEAM, obteve uma média para o Estado de $0,45 \text{ m}^3.\text{m}^{-3}$ para porosidade total.

Já para a porosidade efetiva, a CETESB considera o valor de $0,12 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$, enquanto o valor obtido neste trabalho foi de $0,0851 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$. Os valores obtidos tanto para a porosidade total quanto para a efetiva, em comparação com os valores da CETESB se justificam quando comparamos a densidade do solo obtidas pelo projeto Solos de Minas, de $1,6 \text{ g.cm}^{-1}$ e o valor utilizado pela CETESB, de $1,3 \text{ g.cm}^{-1}$. De acordo com Cirino (1992), a porosidade total está associada ao volume ocupado por poros (“espaços vazios”) e o volume total do solo, enquanto que a porosidade efetiva é a quantidade destes poros cuja água pode percorrer livremente. A densidade do solo é sua massa contida em determinado volume, assim, geralmente, quanto maior a porosidade, menor a densidade do solo, pela quantidade de “espaços vazios” neste.

A condutividade hidráulica utilizada pela CETESB é de $11,23 \text{ cm.dia}^{-1}$ ($1,30 \times 10^{-4} \text{ cm.s}^{-1}$), enquanto que o valor obtido neste trabalho foi de $13,93 \text{ cm.dia}^{-1}$ ($1,65 \times 10^{-4} \text{ cm.s}^{-1}$). Betim et al. (2012), realizou caracterização da condutividade hidráulica de solos em uma bacia hidrográfica da região da Zona da Mata, em Minas Gerais, e obteve valores de condutividade hidráulica que variam entre 10^{-4} a $10^{-6} \text{ cm.s}^{-1}$. A condutividade hidráulica é, de acordo com Gonçalves & Libardi (2013), uma propriedade do solo que expressa a velocidade com que a água se infiltra e se movimenta neste.

Com os parâmetros acima obtidos, foram calculados os parâmetros demonstrados na Tabela 8:

Tabela 8: Parâmetros calculados.

Parâmetros	Equação	Resultado
Velocidade de Darcy (cm.dia ⁻¹)	$U_{gw} = K * i$	0,87
Velocidade de escoamento (cm.dia ⁻¹)	$V_{es} = U_{gw} / \theta_{ef}$	10,24
Espessura da zona não saturada (cm)	$H_v = L_{gw} - h_{cap}$	180,31
Conteúdo volumétrico de água da franja capilar	$\theta_{wcap} = \theta_t * 0,9$	0,38
Conteúdo volumétrico de ar na franja capilar	$\theta_{acap} = \theta_t * 0,1$	0,043
Conteúdo volumétrico de água na zona não saturada	$\theta_{ws} = \theta_t * 0,39$	0,167
Conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada	$\theta_{as} = \theta_t - \theta_{ws}$	0,261

Fonte: Elaborados pelo Autor (2020)

Onde:

U_{gw} – velocidade de Darcy; K – condutividade hidráulica; i – gradiente hidráulico; V_{es} – velocidade de escoamento; θ_{ef} – porosidade efetiva; H_v – espessura da zona não saturada; L_{gw} – profundidade do nível d’água; h_{cap} – espessura da franja capilar; θ_{wcap} – conteúdo volumétrico de água da franja capilar; θ_t – porosidade total; θ_{acap} – conteúdo volumétrico de ar da franja capilar; θ_{ws} – conteúdo volumétrico de água na zona não saturada; θ_{as} – conteúdo volumétrico de ar na zona não saturada.

Em relação à taxa de infiltração de água no solo, que pode ser descrita como sendo a velocidade com que a água da chuva infiltra no solo, a CETESB, em seu modelo de avaliação de risco à saúde humana considera o valor de 66,1 cm.ano⁻¹. Fernandes (2011) utilizando-se de dados climatológicos retirados do Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais determinou a taxa de infiltração de água no solo por meio da equação do balanço hídrico climatológico: *Precipitação total = Evapotranspiração Real + Infiltração no Solo*. Utilizando-se dos dados de 39 estações climatológicas do INMET, a autora calculou a taxa de infiltração de água no solo como sendo de 44 cm.ano⁻¹. Dessa forma, o valor utilizado neste trabalho será o mesmo utilizado por Fernandes (2011), que representa de forma mais fiel o valor da taxa de infiltração de água no solo para o Estado de Minas Gerais.

Para os parâmetros que não puderam ser levantados para o Estado de Minas Gerais, os valores utilizados foram aqueles determinados pelo modelo de avaliação de risco à saúde humana da CETESB. Os parâmetros do meio físico, bem como os valores e as referências estão descritos na Tabela 9 abaixo:

Tabela 9: Parâmetros do meio físico determinados pela CETESB

Parâmetros	Descrição	Unidade	CETESB	Referência
Ab	Área das Fundações	cm ²	200000	CETESB, 2009
Lb	Pé Direito	cm	250	CETESB, 2009
Lcrk	Espessura das fundações/paredes de construções	cm	10	CETESB, 2009
η	Fração da área de rachaduras/fendas nas fundações/paredes	cm ² .cm ⁻²	0,01	ASTM, 2001
θacrk	Conteúdo volumétrico de ar nas fundações/paredes	cm ³ .cm ⁻³	0,2605	MAXIMIANO, 2001
θwcrk	Conteúdo volumétrico de água nas fundações/paredes	cm ³ .cm ⁻³	0,1665	MAXIMIANO, 2001
Xcrk	Perímetro das Fundações	cm	1788,85	CETESB, 2009
Zcrk	Profundidade da base das fundações	cm	10	CETESB, 2009
ER	Razão de troca de ar em espaços fechados	1.seg ⁻¹	3,13 x 10 ⁻⁴	EPA, CEFR
Pa	Taxa de emissão de partículas	g.cm ⁻² .seg ⁻¹	6,90 x 10 ⁻¹⁴	ASTM, 2001
t	Tempo médio do fluxo de vapor a partir da fonte	s	2,46 x 10 ⁹	ASTM, 2001
Uar	Velocidade do ar na zona de respiração	cm.s ⁻¹	225	EPA, CEFR, ASTM, 2002
δar	Altura da Zona de Mistura do ar em Ambiente Aberto	cm	200	ASTM, 2001
Kv	Permeabilidade do Solo ao Vapor	cm ²	1,00.E-06	CETESB, 2009
Ls	Espessura do Solo Superficial Impactado	cm	100	ASTM, 2002
Lss	Profundidade do Topo da Fonte no solo subsuperficial	cm	100	ASTM, 2002
dss	Espessura do Solo Subsuperficial Impactado	cm	345	ASTM, 2002
A	Área da Fonte (Emissão de Vapores e Solo Impactado)	cm ²	20250000	CETESB, 2009
Sd	Espessura da Fonte na Água Subterrânea	cm	200	ASTM (2002)
Sw	Largura da Fonte na Água Subterrânea	cm	4500	CETESB, 2009
Wss	Largura da área fonte no solo subsuperficial	cm	4500	ASTM (2002)
Ws	Largura da área fonte no solo superficial	cm	4500	ASTM (2002)
hcap	Espessura da Franja Capilar	cm	5	ASTM, 2001
T	Temperatura da Água Subterrânea	K	298	CETESB, 2009
vs	Velocidade de Escoamento	cm.dia ⁻¹	24,17	CETESB, 2009
Ww	Largura da área fonte na direção paralela ao fluxo da água subterrânea	cm	4500	CETESB, 2009
x	Distancia entre a área fonte na água subterrânea e o Ponto de Exposição	cm	4500	CETESB, 2009
αx	Dispersividade Longitudinal	m	4,50	αx = x*0,1
αy	Dispersividade Transversal	m	1,49	αy = αx*0,33
αz	Dispersividade Vertical	m	0,23	αz = αx*0,05
δgw	Espessura da pluma dissolvida na água subterrânea	cm	200	ASTM (2002)
dp	Gradiente de Pressão	g.cm ⁻¹ .s ⁻²	0	CETESB, 2009
μar	Viscosidade do Ar	g.cm ⁻¹ .s ⁻²	1,81E-04	CETESB, 2009
Qs	Fluxo Convectivo ao longo das Fundações	cm ³ .s ⁻¹	0	CETESB, 2009
R	Constante Universal dos Gases	atm-L.(mol-K) ⁻¹	0,082	ASTM, 2002

Fonte: CETESB, 2013.

Parâmetros exposicionais

Expectativa de vida

A CETESB utiliza dados de variáveis relacionados à população (segregado entre crianças e adultos) e exposição à contaminação de acordo com os cenários de uso e ocupação do solo. Os cenários adotados por esta instituição contemplam área Residencial Rural, Residencial Urbano e Trabalhadores de Áreas Comerciais/Industriais. Os cenários de uso e ocupação do solo definidos para o Estado de Minas Gerais, de acordo com a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010, são Agrícola, Residencial e Industrial. Neste trabalho, foram considerados equivalentes os cenários de exposição Residencial Rural e Agrícola, Residencial Urbano e Residencial e Trabalhadores de Áreas Comerciais/Industriais e Industrial.

Em relação aos parâmetros exposicionais, a CETESB considera a expectativa de vida da população com sendo de 72 anos, que é o valor estabelecido pelo IBGE em 2010 como a expectativa de vida do brasileiro. Em 2010 a expectativa de vida da população de Minas Gerais, de acordo com o IBGE era de 75,51 anos, e a projeção para o ano de 2020 é de 78,19 anos, que foi o valor utilizado neste trabalho.

A definição de faixa etária utilizada pela CETESB considera como crianças a população que ocupa a faixa etária entre 0 e 6 anos, e os adultos a população que ocupa a faixa etária entre 6 e 72 anos. De acordo com o Estatuto da Criança e do Adolescente (2008), é considerada criança a população que ocupa a faixa etária entre 0 e 12 anos. O IBGE classifica a primeira infância como sendo faixa etária de seres humanos que estão entre 0 e 6 anos de idade. A USEPA classifica como criança os seres humanos que estão na faixa etária entre 0 e 21 anos, mas recomenda que os estudos de exposição à contaminantes em crianças seja feito em etapas da infância, separando, por exemplo, aquelas que estão nas faixas etárias entre 1 e 3 anos, entre 3 e 6 anos, e assim por diante. De acordo com a USEPA (2005), intervalos muito grandes de faixa etária podem não considerar as mudanças comportamentais e fisiológicas significativas que ocorrem na infância.

Considerando o que foi determinado pelo IBGE (2010) sobre faixas etárias, neste trabalho definiu-se como criança os seres humanos que estão na faixa etária entre 0 e 6 anos de idade. Já a faixa etária dos adultos, foi adotado o intervalo de 6 e 78 anos

Em relação à exposição, de acordo com a USEPA (1992), ela pode ser definida como o contato de um agente químico, físico ou biológico com o limite externo de um organismo. A duração de exposição é a quantidade de tempo que esse organismo esteve em contato com o agente, através das vias de exposição possíveis. Este parâmetro varia conforme a situação de uso e ocupação do solo, ou seja, é diferente para os cenários agrícola, residencial e industrial.

Massa Corpórea

Para a definição da massa corpórea dos indivíduos, foram utilizados dados da Pesquisa de Orçamentos Familiares do IBGE (2008 – 2009), que levantou dados referentes à massa corpórea dos indivíduos residentes na região sudeste do Brasil, segregando-as entre idade, sexo e situação do domicílio (urbano ou rural), conforme exposto na Tabela 10.

Tabela 10: Massa corpórea da população da região sudeste do Brasil.

Idade (anos)	Massa Corpórea (Kg)					
	Masculino			Feminino		
	Total	Urbano	Rural	Total	Urbano	Rural
Menos de 1 ano	8,3	8,3	8,5	7,4	7,5	7,2
1 ano	11,9	11,9	11,4	11	11,1	10,3
2 anos	14,2	14,3	13,6	13,6	13,6	13,9
3 anos	16,1	16,1	16,2	15,9	16	14,8
4 anos	18,7	18,8	17	18,3	18,4	17,1
5 anos	20,9	21	19,1	20,7	20,6	20,7
6 anos	22,6	22,6	23	22,7	22,7	22,7
7 anos	26,1	26,7	24,7	25,9	25,9	24,9
8 anos	28,1	28	28,6	28,5	28,6	26,3
9 anos	32,9	32,9	33,4	33,8	33,8	33,7
10 anos	34,5	34,9	31,5	36,4	37	30,9
11 anos	38	38,1	37,3	40,5	40,7	38,5
12 anos	43,2	43,1	43,2	46	46,1	45,5
13 anos	49	49,3	46,4	48,9	48,7	49,6
14 anos	54,4	54,4	54,2	51,4	51,4	51,5
15 anos	58,6	58,7	58,2	54,3	54,8	53,1
16 anos	61,6	62	58,4	53,8	54	52,4
17 anos	64,4	64,3	65,2	55,4	55,6	54,3
18 anos	65,4	65,5	64,2	56,7	56,6	57,4
19 anos	67,8	67,9	66	58,1	58,2	58,1
20 a 24 anos	70,9	71	68,6	58,3	58,3	59
25 a 29 anos	74,3	74,4	71,4	61,4	61,4	60,7
30 a 34 anos	76,3	76,8	72,2	62,4	62,5	61,3
35 a 44 anos	76,4	76,6	73,1	64,3	64,2	65,4
45 a 54 anos	76,1	76,6	70,7	65,5	65,6	65,1

55 a 64 anos	74,2	75,1	69,4	66,1	66,2	64,2
65 a 74 anos	72	72,7	67,4	63,8	64	60,8
75 anos ou mais	68,7	69,7	62,6	60,3	60,9	56,2

Fonte: IBGE, 2008

Os dados referentes à massa corpórea utilizados neste trabalho foram calculados com base nos dados expostos na Tabela 10, mas considerando as faixas etárias entre 0 e 6 anos como crianças, entre 6 e 75 ou mais como adultos, sem haver segregação entre os sexos. Para calcular a média da massa corpórea, foi realizado o produto entre o número de indivíduos de cada faixa etária pela massa corpórea média correspondente e, posteriormente, realizada a média entre as faixas etárias correspondentes à crianças e adultos. Os resultados podem ser observados na Tabela 11.

Tabela 11: Massa corpórea para diferentes faixas etárias e situações do domicílio.

Faixa Etária	Situação do Domicílio	Massa Corpórea (Kg)
Criança	Rural	15,9
Adulto	Rural	60,6
Criança	Urbano	16,1
Adulto	Urbano	63,8

Fonte: IBGE: 2008

O valor de massa corpórea para crianças ficou entre 15,9 kg (domicílio rural) e 16,1 kg (domicílio urbano) e para adultos ficou entre 60,6 kg (domicílio rural) e 63,8 kg (domicílio urbano). De acordo com a USEPA (2004), os valores adotados para o parâmetro Massa Corporal nos estudos realizados pela agência são de 15 kg para crianças e 70 kg para adultos.

Duração da exposição e frequência

Para o cenário Agrícola, Fernandes (2011) considerou o tempo de duração de exposição como sendo a expectativa de vida das pessoas residentes nas áreas rurais, considerando as faixas etárias para crianças e adultos. A CETESB (2001) utilizou o mesmo critério na definição do tempo de duração de exposição, considerando 6 anos para crianças e 72 anos para adultos. Neste trabalho, os valores adotados para o parâmetro “Duração de Exposição” foi de 6 anos para as crianças e de 78 anos para os adultos, considerando a expectativa de vida da população de Minas Gerais.

Em relação à população residencial urbana (cenário Residencial) e os receptores em áreas industriais (cenário Industrial) no modelo de avaliação de risco, a CETESB (2001) considera o tempo de duração de exposição como sendo de 6 anos para receptores crianças e 30 anos para os receptores adultos em áreas residenciais, uma vez que, de acordo com essa instituição,

este é o tempo médio de permanência de um indivíduo no mesmo local residencial. Para os receptores em áreas industriais, a CETESB (2001) considera o tempo de duração de exposição de 25 anos, que é o tempo médio laboral de um trabalhador na indústria. Nas áreas industriais, não é considerado o receptor na faixa etária criança. A USEPA (2004) também considera os mesmos valores determinados pela CETESB para o parâmetro “duração de exposição”, e por isso, estes foram os valores utilizados neste trabalho.

Em relação à frequência de exposição, para o cenário Agrícola, a CETESB (2001) atribui um valor de 350 dias.ano⁻¹, assim como para o cenário Residencial Urbano. Para o cenário Industrial, a CETESB atribui o valor de 290 dias.ano⁻¹, considerado o período de dias trabalhados. A USEPA (2004), considera os valores de frequência de exposição como sendo de 350 dias.ano⁻¹ para o cenário residencial e 250 dias.ano⁻¹ para o cenário Industrial. Neste trabalho, adotou-se o valor de 350 dias.ano⁻¹ para os cenários Agrícola e Residencial, uma vez que os receptores nestes cenários estão sujeitos à exposição praticamente durante todo o ano. Já os receptores em áreas industriais só são expostos em dias trabalhados, portanto, considerando que, de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua Trimestral do IBGE (2020), no primeiro trimestre de 2020 a média de horas trabalhadas por semana é de 40,2. Considerando que o trabalhador industrial trabalhe 40,2 horas semanais, divididas em 5 dias (aproximadamente 8 horas por dia), a frequência de exposição adotada foi de 260 dias.ano⁻¹.

O mesmo critério acima foi definido para o tempo médio para efeitos não carcinogênicos, que é medido em dias.

Desta forma, os valores para os parâmetros “Duração da Exposição”, “Frequência de Exposição” e “Tempo Médio para Efeitos Não Carcinogênicos” determinados podem ser observados na Tabela 12.

Tabela 12: Duração de exposição, frequência da exposição e tempo médio para efeitos não carcinogênicos.

Cenário de Exposição	Agrícola		Residencial		Industrial	
	Criança	Adulto	Criança	Adulto	Criança	Adulto
Duração da Exposição (anos)	6	78	6	30	-	25
Frequência da Exposição (dias.ano ⁻¹)	350	350	350	350	-	260
Tempo Médio para Efeitos Não Carcinogênicos (dias)	2.100	27.300	2100	10.500	-	6.500

Fonte: Elaborado pelo autor.

Demais parâmetros exposicionais

Os parâmetros que não foram possíveis de serem determinados para o Estado de Minas, foram considerados aqueles utilizados pela CETESB em seu modelo de avaliação de risco, e podem ser observados na Tabela 13.

Tabela 13: Parâmetros exposicionais determinados pela CETESB.

Parâmetro	Unidade	Agrícola		Residencial		Industrial	Referências
		C	A	C	A	A	
TE para inalação de partículas e vapores do solo superficial	Horas/dia	8	8	4	2	8	US.EPA RAGS, 1989
TE para contato dérmico com água subterrânea	Horas/dia	2	4	2	4	2	US.EPA CEFR
TE para inalação de vapores em ambientes abertos	Horas/dia	8	8	8	8	8	RVMI
TE para inalação de vapores em ambientes Fechados	Horas/dia	16	16	16	16	8	Caapeleti, 2000
TE durante recreação em água superficial	Horas/dia	2	1	2	1	0	IBGE, 2008
FE para recreação	dias/ano	104	104	104	104	0	CETESB, 2009
Frequência de Eventos para contato dérmico com o solo	eventos/dia	1	1	1	1	1	CETESB, 2009
Taxa de ingestão de solo	mg/dia	200,0	100,0	200,0	100,0	50,0	CETESB, 2009
Taxa de inalação diária em ambientes fechados	m ³ /hora	0,62	0,95	0,62	0,95	1,20	CETESB, 2009
Taxa de inalação diária em ambientes abertos	m ³ /hora	0,78	1,20	0,78	1,20	1,20	CETESB, 2009
Taxa de ingestão diária de água	L/dia	1,00	2,00	1,00	2,00	1,00	CETESB, 2009
Taxa de ingestão de água durante a recreação na água superficial	L/hora	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	CETESB, 2009
Fator de aderência do solo na pele	mg/cm ² .evento	0,20	0,07	0,20	0,07	0,20	CETESB, 2009
Área superficial da pele disponível para contato dérmico - solo e água subterrânea	cm ²	4783	10367	4783	10367	2457	CETESB, 2009
Área superficial da pele disponível para contato dérmico durante recreação na água superficial		7280	19400				CETESB, 2009
Fração Ingerida da Fonte de Contaminação - Solo	-	1	1	1	1	1	CETESB, 2009
Fração da fonte em contato dérmico	-	1	1	1	1	1	CETESB, 2009
Quociente de Risco não Carcinogênico	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	CETESB, 2009
Fração ingerida de vegetais provenientes de área contaminada	-	0,33	0,3	0,04	0,04	0,02	IBGE 2010 (Aquisição alimentar 2008-2009)
Taxa de ingestão de culturas caseiras foleáceas/estruturais	kg/dia	0,01	0,0	0,01	0,01	0,01	IBGE 2010 (Aquisição alimentar 2008-2009)
Taxa de ingestão de culturas caseiras tuberosas	kg/dia	0,02	0,0	0,02	0,03	0,02	IBGE 2010 (Aquisição alimentar 2008-2009)
Constante de deposição de partículas nas folhas vegetais	-	0,01	0,0	0,01	0,01	0,01	
Fator de conversão de peso em base seca para base úmida para raízes	-	5,99		5,99		5,99	RIVM 711701040
Fator de conversão de peso em base seca para base úmida para cultura foleáceas	-	10,20		10,20		10,20	RIVM 711701040

Teor de umidade nas folhas da planta	g/g	0,80	0,80	0,80	Trapp e Matteis, 1995
Conteúdo lipídico na planta foleácea	g/g	0,02	0,02	0,02	Trapp e Matteis, 1995
Expoente de correção para diferenças entre lipídios da planta e octanol	-	0,95	0,95	0,95	Trapp e Matteis, 1995
Constante da taxa de crescimento	1/dia	0,04	0,04	0,04	CETESB
Condutividade	m/dia	86,40	86,40	86,40	Trapp e Matteis, 1995
Área foliar	m ²	5,00	5,00	5,00	Trapp e Matteis, 1995
Fração de volume no solo	-	0,57	0,54	0,54	CETESB, 2001
Temperatura	K	298	298	298	Trapp e Matteis, 1995
Constante Universal dos Gases	(Pa.m ³)/(mol.K)	8,31	8,31	8,31	CETESB, 2001
Fração de volume na água	-	0,17	0,18	0,18	CETESB, 2001
Fração do volume no ar	-	0,26	0,28	0,28	CETESB, 2001
Fluxo de transpiração	L/dia	1,00	1,00	1,00	Trapp, 2002
Densidade do tecido da planta	kg/m ³	800	800	800	Rikken e Lijzen, 2004
Razão de base seca para base úmida em culturas foliáceas	kg dw/kg fw	0,10	0,10	0,10	CETESB, 2001
Teor de umidade nas raízes	gm/gm	0,89	0,89	0,89	Rikken e Lijzen, 2004
Conteúdo lipídico na raiz	gm/gm	0,01	0,01	0,01	Rikken e Lijzen, 2004
Volume radicular	L	1,00	1,00	1,00	Trapp, 2002
Constante de primeira ordem da taxa de crescimento	1/dia	0,10	0,10	0,10	Trapp, 2002

Fonte: CETESB (2013)

Toxicidade e propriedades físico-químicas do TPH

De forma a se calcular os valores de investigação para as frações de TPH, utilizou-se dados disponibilizados pela USEPA relacionados às propriedades físico-químicas dessas frações, além dos dados toxicológicos.

Os dados referentes às propriedade físico-químicas foram levantados dos *Regional Screening Levels*, da USEPA, atualizados em maio de 2020. Estes dados podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14: Parâmetros físico-químicos para as faixas de TPH.

Faixa de TPH	PM (g.mol ⁻¹)	H (-)	Densidade (g.cm ⁻³)	Solubilidade (mg.L ⁻¹)	Dif. Ar (cm ² .s ⁻¹)	Dif. Água (cm ² .s ⁻¹)	Koc (mg.L ⁻¹)	P vap (mm Hg)
C19-C32 - Alifático Alto	170,34	334,42	0,8770	0,0037	0,03619	6,4 x 10 ⁻⁶	4818	0,135
C9-C18- Alifático Médio	128,26	139,00	0,7192	0,22	0,05143	6,8 x 10 ⁻⁶	796	4,45
C5-C8 - Alifático Baixo	86,18	73,50	0,6606	9,5	0,07310	8,1 x 10 ⁻⁶	131,5	151,3
C17-C32 - Aromático Alto	202,26	0,00036	1,252	0,26	0,02759	7,2 x 10 ⁻⁶	55450	9,2 x 10 ⁻⁶
C9-C16 - Aromático Médio	135,19	0,02	1,0155	27,8	0,05638	8,0 x 10 ⁻⁶	2011	0,07
C6-C8 - Aromático Baixo	78,12	0,23	0,8765	1790	0,08953	1,0 x 10 ⁻⁵	145,8	94,8

Fonte: USEPA, 2009.

Onde:

PM – Peso Molar (g.mol⁻¹); H – Constante de Henry (adimensional); Dif. Ar – Difusividade no ar (cm².s⁻¹); Dif. Água – Difusividade em Água (cm².s⁻¹); Koc – Coeficiente de partição octanol/água (mg.L⁻¹); P vap – Pressão de vapor (mm Hg).

Os dados referentes aos fatores toxicológicos para as frações de TPH foram levantados do estudo *Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for Mixtures of Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons - PPRTV* (USEPA, 2009) e podem ser observados nas Tabela 15.

Tabela 15: Valores recomendados de toxicidade oral para o TPH. Fonte: PPRTV (USEPA, 2009).

VALORES RECOMENDADOS DE TOXICIDADE ORAL PARA O TPH			
Fração de TPH	RfD (mg.kg ⁻¹ .dia ⁻¹)	Efeito	Fonte
Alifáticos			
C5-C8 - Alifático Baixo	0,3	Velocidade de condução de impulsos do sistema nervoso reduzida	PPRTV (USEPA, 2009)
C9-C18- Alifático Médio	0,01	Danos aos rins e ao fígado	PPRTV (USEPA, 2009)
C19-C32 - Alifático Alto	3	Efeitos laxantes	PPRTV (USEPA, 2009)
Aromáticos			
C6-C8 - Aromático Baixo	0,004	Diminuição da contagem de linfócitos	PPRTV (USEPA, 2009)
C9-C16 - Aromático Médio	0,004	Proteinose alveolar	ÍRIS (USEPA, 2009)
C17-C32 - Aromático Alto	0,04	Danos aos rins e fígado	ÍRIS (USEPA, 2009)

Fonte: USEPA (2009)

Onde:

C = Número de carbonos, IRIS = Integrated Risk Information System, PPRTV = Provisional Peer-Reviewed Toxicity Value, RfC = Concentração de referência.

Tabela 16: Valores recomendados de toxicidade por inalação para o TPH.

VALORES RECOMENDADOS DE TOXICIDADE POR INALAÇÃO PARA O TPH			
Fração de TPH	RfD (mg.m⁻³)	Efeito	Fonte
Alifáticos			
C5-C8 - Alifático Baixo	0,6	Neuropatia periférica e hiperplasia nasal	ÍRIS (USEPA, 2009)
C9-C18- Alifático Médio	0,1	Hipertrofia celular e hiperplasia adrenal	PPRTV (USEPA, 2009)
C19-C32 - Alifático Alto	Não volátil	-	PPRTV (USEPA, 2009)
Aromáticos			
C6-C8 - Aromático Baixo	0,03	Diminuição da contagem de linfócitos	PPRTV (USEPA, 2009)
C9-C16 - Aromático Médio	0,003	Lesões nasais	ÍRIS (USEPA, 2009)
C17-C32 - Aromático Alto	Não volátil	-	ÍRIS (USEPA, 2009)

Fonte: PPRTV (USEPA, 2009)

Onde:

C = Número de carbonos, IRIS = Integrated Risk Information System, PPRTV = Provisional Peer-Reviewed Toxicity Value, RfC = Concentração de referência.

Valores de investigação

Utilizando-se dos dados obtidos para o meio físico, os dados exposicionais e as vias de exposição (Agrícola, Residencial e Industrial), calculou-se os valores de investigação para as frações de TPH: alifático alto (C19-C32), médio (C9-C18) e baixo (C5-C8); aromático alto (C17-C32), médio (C9-C16) e baixo (C6-C), para o Estado de Minas Gerais, conforme apresentados nas tabelas 15 a 24 a seguir.

Os valores dos parâmetros do meio físico utilizados para a determinação dos valores de investigação foram os valores médios encontrados, uma vez que Fernandes (2011) identificou que os valores de investigação obtidos com valores específicos por região não diferem estatisticamente dos valores de investigação obtidos a partir de valores médios.

Os valores de investigação foram calculados utilizando-se duas premissas, 1) considerando todas as vias de exposição; 2) considerando apenas as vias de exposição de contato direto, conforme trabalho de Fernandes (2011). As vias de exposição de contato direto para o solo são: inalação de vapores; inalação de partículas; contato dérmico; ingestão de solos; e ingestão de vegetais. As vias de exposição de contato indireto para o solo são: inalação em ambientes abertos; inalação em ambientes fechados; e ingestão de água subterrânea a partir de lixiviação do solo. Essas vias de exposição foram determinadas pela CETESB (2009).

Os resultados obtidos neste trabalho para os valores de investigação das frações de TPH para o Estado de Minas Gerais no cenário Agrícola em cada via de exposição para crianças e

adultos, podem ser observados abaixo nas tabelas: Tabela 17, Tabela 18, Tabela 19 e Tabela 20.

Os resultados obtidos neste trabalho para os valores de investigação das frações de TPH para o Estado de Minas Gerais no cenário Residencial em cada via de exposição para crianças e adultos, podem ser observados abaixo nas tabelas: Tabela 21, Tabela 22, Tabela 23 e Tabela 24.

Os resultados obtidos de valores de investigação para as frações de TPH no cenário Industrial em cada via de exposição, podem ser observados abaixo nas tabelas: Tabela 25 e Tabela 26.

Tabela 17: Valores de Investigação para o solo no Cenário Agrícola – Receptor: CRIANÇA

Fração de TPH	Vias de exposição de contato direto					Vias de exposição de contato indireto				Todas as vias de exposição - VI (mg.kg ⁻¹)	Vias de exposição de contato direto – VI (mg.kg ⁻¹)
	Inalação		Contato Dérmico (mg.kg ⁻¹)	Ingestão (mg.kg ⁻¹)	Ingestão de vegetais (mg.kg ⁻¹)	Inalação		Ingestão de água subterrânea a partir de lixiviação do solo (mg.kg ⁻¹)	Lixiviação para água subterrânea na fonte de contaminação a uma distância do ponto de exposição (mg.kg ⁻¹)		
	Vapores (mg.kg ⁻¹)	Partículas (mg.kg ⁻¹)				Ambientes abertos (mg.kg ⁻¹)	Ambientes fechados (mg.kg ⁻¹)				
C19-C32 - Alifático Alto	ND	ND	ND	238500,00	10215,83	ND	ND	5666,23	17404,73	2.976,01	9.796,22
C9-C18- Alifático Médio	11192,46	1,06 x 10 ¹⁰	ND	795,00	35,37	3244,19	15,94	9,99	22,38	4,21	33,76
C5-C8 - Alifático Baixo	67154,79	0,00	6,33 x 10 ¹⁰	0,00	ND	0,00	23850,00	0,00	ND	57,88	2.107,22
C17-C32 - Aromático Alto	ND	ND	5114,27	3180,00	154,11	ND	ND	14,66	45,04	10,27	142,88
C9-C16 - Aromático Médio	335,77	3,17 x 10 ⁸	511,43	318,00	43,29	416,59	22,52	1,47	4,51	1,02	32,07
C6-C8 - Aromático Baixo	3357,74	3,17 x 10 ⁹	ND	318,00	126,65	973,26	12,29	1,47	4,52	1,00	88,20

Fonte: Elaborados pelo Autor (2020).

Onde:

ND – Não definido

Tabela 18: Valores de Investigação para o solo no Cenário Agrícola – Receptor: ADULTO

Fração de TPH	Vias de exposição de contato direto					Vias de exposição de contato indireto				Todas as vias de exposição - VI (mg.kg ⁻¹)	Vias de exposição de contato direto – VI (mg.kg ⁻¹)
	Inalação		Contato Dérmico (mg.kg ⁻¹)	Ingestão (mg.kg ⁻¹)	Ingestão de vegetais (mg.kg ⁻¹)	Inalação		Ingestão de água subterrânea a partir de lixiviação do solo (mg.kg ⁻¹)	Lixiviação para água subterrânea na fonte de contaminação a uma distância do ponto de exposição (mg.kg ⁻¹)		
	Vapores (mg.kg ⁻¹)	Partículas (mg.kg ⁻¹)				Ambientes abertos (mg.kg ⁻¹)	Ambientes fechados (mg.kg ⁻¹)				
C19-C32 - Alifático Alto	ND	ND	ND	1,82 x 10 ⁶	19467,90	ND	ND	10797,91	33167,50	5.724,85	19.261,64
C9-C18- Alifático Médio	27727,75	2,61 x 10 ¹⁰	ND	6060	67,39	8037,03	39,66	19,04	42,64	8,6	66,49
C5-C8 - Alifático Baixo	166366,48	1,57 x 10 ¹¹	ND	1,82 x 10 ⁵	4561,83	48222,17	237,94	401,08	1231,98	128,88	4.334,23
C17-C32 - Aromático Alto	ND	ND	25694,38	24240,0	293,67	ND	ND	27,95	85,84	19,64	286,92
C9-C16 - Aromático Médio	831,83	7,84 x 10 ⁸	2569,44	2424,00	82,49	1032,06	56,02	2,8	8,59	1,97	70,79
C6-C8 - Aromático Baixo	8318,32	7,84 x 10 ⁹	ND	2424,00	241,35	2411,11	30,57	2,8	8,61	1,96	213,86

Fonte: Elaborados pelo Autor (2020).

Onde:

ND – Não definido

Tabela 19: Valores de Investigação para a água subterrânea no Cenário Agrícola – Receptor: Criança

Fração de TPH	No ponto de exposição				Na fonte de contaminação a uma distância do ponto de exposição				Todas as vias de exposição - VI ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Vias de exposição de contato direto - VI ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)
	Inalação		Contato direto		Inalação		Contato direto			
	Vapores ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Partículas ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Contato Dérmico ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ingestão ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ambientes abertos ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ambientes fechados ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Contato Dérmico ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ingestão ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)		
C19-C32 - Alifático Alto	ND	ND	2540	47700	ND	ND	7810	146520	1.822,08	2.415,4
C9-C18- Alifático Médio	4480	30	10	160	13750	90	30	490	5,31	44,56
C5-C8 - Alifático Baixo	35670	240	2480	4770	109570	740	7620	14650	156,63	1.632,22
C17-C32 - Aromático Alto	ND	ND	220	640	ND	ND	660	1950	121,58	163,18
C9-C16 - Aromático Médio	269050	2880	100	60	826430	8860	300	200	28,5	46,78
C6-C8 - Aromático Baixo	319150	2420	450	60	980320	7430	1370	200	41,04	61,51

Fonte: Elaborados pelo Autor (2020).

Onde:

ND – Não definido

Tabela 20: Valores de Investigação para a água subterrânea no Cenário Agrícola – Receptor: Adulto

Fração de TPH	No ponto de exposição				Na fonte de contaminação a uma distância do ponto de exposição				Todas as vias de exposição - VI ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Vias de exposição de contato direto - VI ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)
	Inalação		Contato direto		Inalação		Contato direto			
	Vapores ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Partículas ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Contato Dérmico ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ingestão ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ambientes abertos ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ambientes fechados ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Contato Dérmico ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ingestão ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)		
C19-C32 - Alifático Alto	ND	ND	2240	90900	ND	ND	6870	279210	1.646,91	2.183,22
C9-C18- Alifático Médio	11090	70	10	300	34070	230	30	930	5,67	47,31
C5-C8 - Alifático Baixo	88370	600	2180	9090	271440	1830	6700	27920	334,01	1.759,24
C17-C32 - Aromático Alto	ND	ND	190	1210	ND	ND	580	3720	123,79	166,08
C9-C16 - Aromático Médio	666540	7170	80	120	2047370	22030	260	370	37,31	56,34
C6-C8 - Aromático Baixo	790650	6010	390	120	2428600	18480	1210	370	68,79	96,11

Fonte: Elaborados pelo Autor (2020).

Onde:

ND – Não definido

Tabela 21: Valores de Investigação para o solo no Cenário Residencial – Receptor: CRIANÇA

Fração de TPH	Vias de exposição de contato direto					Vias de exposição de contato indireto				Todas as vias de exposição - VI (mg.kg ⁻¹)	Vias de exposição de contato direto – VI (mg.kg ⁻¹)
	Inalação		Contato Dérmico (mg.kg ⁻¹)	Ingestão (mg.kg ⁻¹)	Ingestão de vegetais (mg.kg ⁻¹)	Inalação		Ingestão de água subterrânea a partir de lixiviação do solo (mg.kg ⁻¹)	Lixiviação para água subterrânea na fonte de contaminação a uma distância do ponto de exposição (mg.kg ⁻¹)		
	Vapores (mg.kg ⁻¹)	Partículas (mg.kg ⁻¹)				Ambientes abertos (mg.kg ⁻¹)	Ambientes fechados (mg.kg ⁻¹)				
C19-C32 - Alifático Alto	ND	ND	ND	234642,86	109395,75	ND	ND	4633,45	14232,37	3.339,04	74.610,61
C9-C18- Alifático Médio	4633,35	9,23 x 10 ⁹	ND	782,14	378,71	671,5	3,3	7,94	24,38	2,10	241,84
C5-C8 - Alifático Baixo	27800,12	5,54 x 10 ¹⁰	ND	23464,29	25631,29	4029,00	19,82	162,73	364,39	16,74	8.503,12
C17-C32 - Aromático Alto	ND	ND	5031,56	3128,57	1650,06	ND	ND	10,39	31,91	7,77	889,35
C9-C16 - Aromático Médio	200,22	2,77 x 10 ⁸	503,16	312,86	463,43	183,61	9,93	1,04	3,19	0,72	81,06
C6-C8 - Aromático Baixo	1390,01	2,77 x 10 ⁹	ND	312,86	1355,28	201,45	5,42	1,04	3,2	0,68	214,89

Fonte: Elaborados pelo Autor (2020).

Onde:

ND – Não definido

Tabela 22: Valores de Investigação para o solo no Cenário Residencial – Receptor: ADULTO

Fração de TPH	Vias de exposição de contato direto					Vias de exposição de contato indireto				Todas as vias de exposição - VI (mg.kg ⁻¹)	Vias de exposição de contato direto – VI (mg.kg ⁻¹)
	Inalação		Contato Dérmico (mg.kg ⁻¹)	Ingestão (mg.kg ⁻¹)	Ingestão de vegetais (mg.kg ⁻¹)	Inalação		Ingestão de água subterrânea a partir de lixiviação do solo (mg.kg ⁻¹)	Lixiviação para água subterrânea na fonte de contaminação a uma distância do ponto de exposição (mg.kg ⁻¹)		
	Vapores (mg.kg ⁻¹)	Partículas (mg.kg ⁻¹)				Ambientes abertos (mg.kg ⁻¹)	Ambientes fechados (mg.kg ⁻¹)				
C19-C32 - Alifático Alto	ND	ND	ND	2,19 x 10 ⁶	263497,82	ND	ND	10811,38	33208,87	7.882,75	235.199
C9-C18- Alifático Médio	28109,01	5,6 x 10 ¹⁰	ND	7300	912,18	2036,88	10,06	18,52	56,89	5,79	788,12
C5-C8 - Alifático Baixo	168654,07	3,36 x 10 ¹¹	ND	219000	61739,43	12221,31	60,35	379,70	850,24	48,81	37.463,5
C17-C32 - Aromático Alto	ND	ND	30951,97	29200	3974,9	ND	ND	24,24	74,46	18,18	3.143,33
C9-C16 - Aromático Médio	1214,69	1,68 x 10 ⁹	3095,20	2920	1116,32	556,95	30,26	2,42	7,45	1,71	419,36
C6-C8 - Aromático Baixo	8432,7	1,68 x 10 ¹⁰	ND	2920	3265,13	611,07	16,52	2,43	7,47	1,64	1.303,24

Fonte: Elaborados pelo Autor (2020).

Onde:

ND – Não definido

Tabela 23: Valores de Investigação para a água subterrânea no Cenário Residencial – Receptor: Criança

Fração de TPH	No ponto de exposição				Na fonte de contaminação a uma distância do ponto de exposição				Todas as vias de exposição - VI ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Vias de exposição de contato direto - VI ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)
	Inalação		Contato direto		Inalação		Contato direto			
	Vapores ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Partículas ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Contato Dérmico ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ingestão ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ambientes abertos ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ambientes fechados ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Contato Dérmico ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ingestão ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)		
C19-C32 - Alifático Alto	ND	ND	2500	46930	ND	ND	7690	144150	1792,61	2376,34
C9-C18- Alifático Médio	1620	10	10	160	4990	30	30	480	3,76	44,99
C5-C8 - Alifático Baixo	12940	90	2440	4690	39740	270	7500	14410	63,25	1605,82
C17-C32 - Aromático Alto	ND	ND	210	630	ND	ND	650	1920	119,61	160,61
C9-C16 - Aromático Médio	77620	1000	90	60	238430	3070	290	190	27,37	60,71
C6-C8 - Aromático Baixo	110650	880	440	60	339870	2710	1350	190	38,88	60,71

Fonte: Elaborados pelo Autor (2020).

Onde:

ND – Não definido

Tabela 24: Valores de Investigação para a água subterrânea no Cenário Residencial – Receptor: Adulto

Fração de TPH	No ponto de exposição				Na fonte de contaminação a uma distância do ponto de exposição				Todas as vias de exposição - VI ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Vias de exposição de contato direto - VI ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)
	Inalação		Contato direto		Inalação		Contato direto			
	Vapores ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Partículas ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Contato Dérmico ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ingestão ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ambientes abertos ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ambientes fechados ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Contato Dérmico ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ingestão ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)		
C19-C32 - Alifático Alto	ND	ND	2690	109500	ND	ND	8280	336350	1983,9	2629,89
C9-C18- Alifático Médio	4930	30	10	370	15130	100	30	1120	5,85	42,4
C5-C8 - Alifático Baixo	39240	270	2630	10950	120540	830	8070	33630	180,32	2119,15
C17-C32 - Aromático Alto	ND	ND	230	1460	ND	ND	700	4480	149,12	199,32
C9-C16 - Aromático Médio	235460	3050	100	150	723240	9360	310	450	44,37	65,42
C6-C8 - Aromático Baixo	335630	2680	470	150	1030940	8240	1450	450	80,76	114,46

Fonte: Elaborados pelo Autor (2020).

Onde:

ND – Não definido

Tabela 25: Valores de Investigação para o solo no Cenário Industrial

Fração de TPH	Vias de exposição de contato direto					Vias de exposição de contato indireto				Todas as vias de exposição - VI (mg.kg ⁻¹)	Vias de exposição de contato direto - VI (mg.kg ⁻¹)
	Inalação		Contato Dérmico (mg.kg ⁻¹)	Ingestão (mg.kg ⁻¹)	Ingestão de vegetais (mg.kg ⁻¹)	Inalação		Ingestão de água subterrânea a partir de lixiviação do solo (mg.kg ⁻¹)	Lixiviação para água subterrânea na fonte de contaminação a uma distância do ponto de exposição (mg.kg ⁻¹)		
	Vapores (mg.kg ⁻¹)	Partículas (mg.kg ⁻¹)				Ambientes abertos (mg.kg ⁻¹)	Ambientes fechados (mg.kg ⁻¹)				
C19-C32 - Alifático Alto	ND	ND	ND	5,29 x 10 ⁶	NA	ND	ND	26096,43	227185,34	23304,44	5286206,9
C9-C18- Alifático Médio	7067,64	1,69 x 10 ¹⁰	ND	17620,69	NA	2048,59	19,22	32,61	283,88	11,51	5044,35
C5-C8 - Alifático Baixo	42405,84	1,01 x 10 ¹¹	ND	528620,69	NA	12291,55	115,33	493,7	3133,21	89,91	39256,66
C17-C32 - Aromático Alto	ND	ND	55166,37	70482,76	NA	ND	ND	667,58	5811,69	587,43	30945,52
C9-C16 - Aromático Médio	217,62	5,07 x 10 ⁸	5516,64	7048,28	NA	284,38	42,69	2,48	21,56	2,07	203,32
C6-C8 - Aromático Baixo	2120,29	5,07 x 10 ⁹	ND	7048,28	NA	614,58	5,77	0,25	2,18	0,22	1629,96

Fonte: Elaborados pelo Autor (2020).

Onde:

ND – Não definido

NA – Não avaliado

Tabela 26: Valores de Investigação para a água subterrânea no Cenário Industrial

Fração de TPH	No ponto de exposição				Na fonte de contaminação a uma distância do ponto de exposição				Todas as vias de exposição - VI ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Vias de exposição de contato direto - VI ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)
	Inalação		Contato direto		Inalação		Contato direto			
	Vapores ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Partículas ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Contato Dérmico ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ingestão ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ambientes abertos ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ambientes fechados ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Contato Dérmico ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Ingestão ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)		
C19-C32 - Alifático Alto	ND	ND	27440	264310	ND	ND	238900	2300980	22299,67	24861,2
C9-C18- Alifático Médio	5940	90	110	880	51750	780	920	7670	40,78	95,41
C5-C8 - Alifático Baixo	47360	710	26760	26430	412320	6190	232960	230100	596,76	13297,21
C17-C32 - Aromático Alto	ND	ND	2330	3520	ND	ND	20270	30680	1257,62	1402,16
C9-C16 - Aromático Médio	284170	9150	1040	350	2473870	79640	9030	3070	229,13	263,47
C6-C8 - Aromático Baixo	405070	7330	4810	350	3526380	63800	41900	3070	281,69	263,47

Fonte: Elaborados pelo Autor (2020).

Onde:

ND – Não definido

Os valores de investigação obtidos para as vias de exposição de contato direto se mostraram mais permissíveis do que os valores obtidos considerando todas as vias de exposição. Isso é esperado, uma vez que quanto mais vias de exposição um receptor estiver sujeito, mais riscos à saúde ele terá.

Comparação dos valores obtidos com dados da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA)

Diante dos resultados obtidos, pode-se observar que os valores estabelecidos para as crianças em geral são mais restritivos do que para os adultos. Esta observação está relacionada com as características físicas das crianças e dos adultos, como por exemplo a massa corporal, que, de acordo com os valores utilizados no trabalho, possuem grandes diferenças.

Além disso, os resultados obtidos mostram que a definição das vias de exposição está diretamente relacionada ao valor de investigação. Em um cenário que considera todas as vias de exposição, os valores de investigação são mais restritivos do que em um cenário que considera apenas as vias de exposição de contato direto. Isso porque, quando se considera apenas as vias de exposição de contato direto, as vias de exposição de contato indireto, que também tem potencial para causar risco à saúde humana, fica de fora da análise, e com isso, o valor de investigação obtido tende a ser mais permissivo.

No Estado de Minas Gerais, não existem valores orientadores determinados para o TPH. Os órgãos ambientais muitas vezes utilizam a Lista Holandesa como parâmetro para o Valor de Investigação. Esta lista determina que, para o solo, o valor de investigação deve ser de 1000 mg.kg⁻¹, enquanto que para a água subterrânea, o valor de investigação é de 600 µg.L⁻¹ (CETESB, 2016).

Como o valor determinado pela Lista Holandesa como valor de investigação considera um parâmetro TPH Total, não dividido em frações, sua comparação com os resultados deste trabalho poderia não apresentar resultados coerentes. Seria possível realizar o cálculo do TPH total utilizando os dados obtidos neste trabalho, mas os valores seriam várias vezes mais permissivos do que a lista holandesa, e, dessa forma, não foi realizado. Por isso, os resultados observados neste trabalho foram comparados com os valores de investigação determinados pela USEPA, que considera as mesmas frações de TPH utilizadas neste trabalho.

De acordo com a USEPA (2020), os valores orientadores (Screening Levels) são definidos para os receptores: Resident Soil, Industrial Soil, e Ground Water (Solo Residencial, Solo Industrial e Água Subterrânea). Não há diferenciação entre os cenários agrícola e residencial para os valores de investigação definidos pela USEPA, portanto, a comparação destes dois cenários obtidos neste trabalho ocorreu com o cenário Resident Soil, Industrial Soil e Ground Water.

De acordo com a USEPA (2020), os receptores residenciais são aqueles que passam a maior parte, senão o dia todo em casa, executando tarefas domésticas típicas, como cozinhar, limpar a casa, lavar roupa, e outras atividades, incluindo aquelas ao ar livre. As principais vias de exposição as quais este receptor está sujeito são: ingestão acidental de solo, contato dérmico com o solo, inalação de vapores e inalação de partículas.

Os trabalhadores industriais são considerados receptores de longo prazo, e são aqueles que estão expostos ao longo do dia de trabalho. É um trabalhador de tempo integral, que exerce atividades em ambiente industrial, realizando trabalhos como manutenção, escavação moderada, paisagismo etc. As principais vias de exposição as quais este receptor está sujeito são: ingestão acidental de solo, contato dérmico com o solo, inalação de vapores e inalação de partículas (USEPA, 2020).

Os valores de investigação determinados pela USEPA apenas consideram as vias de exposição de contato direto, e podem ser observados na Tabela 27, Tabela 28 e Tabela 29.

Tabela 27: Valores de Investigação para o solo no cenário Residencial - USEPA

Fração de TPH	Ingestão (mg.kg⁻¹)	Contato Dérmico (mg.kg⁻¹)	Inalação (mg.kg⁻¹)	Vias de contato direto – VI (mg.kg⁻¹)
Alifático alto	230000	ND	ND	230.000
Alifático médio	780	ND	110	96
Alifático baixo	ND	ND	520	520
Aromático alto	3100	10000	ND	2.400
Aromático médio	310	1000	160	97
Aromático baixo	310	ND	110	82

Onde:

ND – Não definido

Fonte: USEPA (2020).

Tabela 28: Valores de Investigação para o solo no cenário Industrial - USEPA

Fração de TPH	Vias de contato direto – VI (mg.kg ⁻¹)
Alifático alto	3.500.000
Alifático médio	440
Alifático baixo	2.200
Aromático alto	30.000
Aromático médio	560
Aromático baixo	420

Fonte: USEPA (2020).

Tabela 29: Valores de Investigação para TPH na água potável - USEPA

Fração de TPH	Valor de Investigação (µg.L ⁻¹)
Alifático alto	60.000
Alifático médio	100
Alifático baixo	1.300
Aromático alto	800
Aromático médio	5,5
Aromático baixo	33

Fonte: USEPA (2020).

Comparando os valores de investigação obtidos neste trabalho para o solo nos cenários Residencial e Industrial em vias de exposição de contato direto, com os valores determinados pela USEPA, tem-se a Tabela 30.

Tabela 30: Comparação entre valores de investigação obtidos e USEPA (2020)

Fração de TPH	Resultados obtidos: Residencial Solo – receptor criança, VI – vias de exposição de contato direto (mg.kg ⁻¹)	USEPA: Residencial Solo – receptor criança, VI – vias de exposição de contato direto - (mg.kg ⁻¹)	Resultados obtidos: Industria Solo VI – vias de exposição de contato direto. (mg.kg ⁻¹)	USEPA: Industria Solo VI – vias de exposição de contato direto. (mg.kg ⁻¹)
Alifático alto	74.611	230.000	5.286.207	3.500.000
Alifático médio	242	96	5.045	440
Alifático baixo	8.504	520	39.257	2.200
Aromático alto	890	2.400	30.946	30.000
Aromático médio	82	97	204	560
Aromático baixo	215	82	1.630	420

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020) e USEPA (2020)

Em relação aos resultados obtidos para águas subterrâneas, a comparação com dados da USEPA (2020) foi realizada da seguinte forma: como não há distinção entre os cenários de exposição para a água potável, os valores determinados pela USEPA foram comparados com os valores de investigação obtidos para a água subterrânea no cenário Residencial, com receptor criança e vias de exposição de contato direto. A comparação pode ser observada na Tabela 31.

Tabela 31: Comparação entre valores de investigação obtidos para água subterrânea e dados da USEPA

Fração de TPH	Resultados obtidos: Residencial Água Subterrânea – Receptor Criança, VI – vias de exposição de contato direto ($\mu\text{g.L}^{-1}$)	USEPA: Água Potável – VI ($\mu\text{g.L}^{-1}$)
Alifático alto	2.376,34	60.000
Alifático médio	44,99	100
Alifático baixo	1.605,82	1.300
Aromático alto	160,61	800
Aromático médio	46,3	5,5
Aromático baixo	60,71	33

Fonte: Elaborado pelo Autor (2020) e USEPA (2020)

É importante ressaltar que os valores de investigação determinados pela USEPA (2020) foram obtidos a partir de avaliação de risco que utilizou dados específicos do meio físico dos Estados Unidos. Já os valores de investigação desenvolvidos neste trabalho de TCC, considerando as frações de TPH, foram obtidos a partir de dados do meio físico e parâmetros exposicionais do Estado de Minas Gerais, sem a influência determinativa da Lista Holandesa que utiliza parâmetros relacionados aos cenários litológicos e climáticos dos meios físicos holandeses.

Dessa forma, em algumas etapas da investigação, os valores obtidos se assemelham aos valores determinados pela USEPA (2020) e, em outros momentos, são discrepantes, ora sendo mais conservadores, ora sendo mais restritivos. Essas alterações podem estar relacionadas às diferenças entre os parâmetros utilizados (obtidos para Minas Gerais) e os utilizados pela USEPA.

Ressalta-se que a metodologia proposta para o fracionamento do TPH foi baseada em orientações da Environmental Protection Agency (USEPA). Alguns autores utilizam outras metodologias de fracionamento, considerando o número de carbonos na cadeia do hidrocarboneto, mas indicando outros elementos representativos. Este é o caso de Pereira (2012), que realizou estudo de caracterização de área contaminada por combustível de aviação. Neste caso, o autor realizou a análise através da metodologia TPH *fingerprint*, e considerou faixas de TPH distintas daquelas utilizadas neste trabalho. O autor escolheu as substâncias representativas para as faixas de TPH determinadas e obteve resultados comparativos com a lista holandesa, pois realizou o somatório das concentrações obtidas nas faixas encontradas, determinando assim o TPH Total.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que o presente trabalho atingiu seu objetivo, que é a determinação dos valores de investigação para as frações de TPH determinadas para o Estado de Minas Gerais. Apesar da diferença entre os valores obtidos e os valores determinados pela USEPA, por se tratar de um modelo de avaliação de risco à saúde humana que considera dados do meio físico do Estado de Minas Gerais, conclui-se que os valores obtidos sejam mais fiéis à realidade atual do Estado do que aqueles atualmente utilizados, alicerçados na Lista Holandesa.

Os dados toxicológicos e parâmetros físico-químicos das frações de TPH foram obtidos embasados em estudos realizados pela USEPA (2020), que desenvolveu um compilado de estudos do comportamento dessas substâncias no organismo humano. Dessa forma, os dados utilizados podem ser considerados consistentes.

Os dados do meio físico, levantados em estudos obtidos do processo de gerenciamento de áreas contaminadas junto à FEAM, podem servir como base para futuros estudos. Apesar destes dados serem mais escassos na região Norte do Estado de Minas Gerais, eles subsidiaram a obtenção dos valores de investigação mais condizentes com os cenários, vias de exposição e receptores no Estado.

O modelo de avaliação de risco à saúde humana desenvolvido pela USEPA e adaptado pela CETESB se mostrou funcional, gerando resultados consistentes.

É importante ressaltar que os valores de investigação não podem ser considerados padrões de qualidade, ou metas de remediação para áreas contaminadas. Estes valores servem de parâmetros orientativos-para a necessidade de investigações mais detalhadas e avaliações de risco à saúde humana específicas para cada área.

Finalizando, é importante enfatizar que nenhuma metodologia de avaliação de TPH é absolutamente correta, inquestionável e consegue identificar todos os compostos derivados de petróleo em uma amostra contaminada. Dessa forma, é necessário que se identifique a metodologia mais confiável para que os erros sejam menores e os dados obtidos sejam mais precisos (ITRC, 2018).

RECOMENDAÇÕES

No Brasil, ainda não foram definidos valores orientadores para TPH. Praticamente todos os órgãos ambientais utilizam valores orientadores determinados por agências ambientais internacionais, que muitas vezes podem não ser representativos para as diversas regiões do país.

Por sua vez também os estudos de avaliação de risco à saúde humana para o TPH ainda são muito escassos, o que torna frágil o critério de gerenciamento de áreas contaminadas baseadas no risco, conforme preconiza a Resolução CONAMA 420/2009 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 02/2010, uma vez que há reconhecidamente áreas onde só há concentrações de TPH.

Dessa forma, recomenda-se a realização de novos estudos, para confirmação dos valores de TPH para uso do Estado utilizando-se da planilha de avaliação de risco à saúde humana da Cetesb e outros modelos de avaliação de risco à saúde humana, considerando dados representativos da região.

Ademais, recomenda-se a realização de análise de sensibilidade para avaliar quais parâmetros influenciam mais nos resultados, de forma a direcionar a obtenção dos dados mais relevantes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Juliano de Almeida; AUGUSTO, Fabio; JARDIM, Isabel Cristina Sales Fontes. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética Química**, [S.L.], v. 35, n. 3, p. 17-43, set. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-46702010000300002>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-46702010000300002&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 07 dez. 2020.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil). **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis : 2018** / Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. - Rio de Janeiro: ANP, 2018. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/images/central-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/2018/anuario-2018-versao-impressao.pdf>>. Acesso em: 09 abr. 2019.

ATSDR -. Agency For Toxic Substances And Disease Registry. U.s. Department Of Health And Human Services. **TOXICOLOGICAL PROFILE FOR TOTAL PETROLEUM HYDROCARBONS (TPH)**. Atlanta, Georgia: 1999. 315 p. Disponível em: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/6416/cdc_6416_DS1.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2019.

AVIDOS, Jorge Duarte Araújo. **Implementação e Validação de um Método Analítico para a Determinação do Índice de Hidrocarbonetos Totais do Petróleo (TPH) em Águas Residuais por Cromatografia Gasosa**. 2017. 95 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2017. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/107347/2/212401.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2020.

BETIM, Luiza Silva *et al.* **CARACTERIZAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DOS SOLOS TÍPICOS DE UMA MICROBACIA REPRESENTATIVA DA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS**. 2012. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/27569/17829>. Acesso em: 28 jul. 2020.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 420, 28 de dezembro de 2009. **Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas**

substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res09/res42009.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2020.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **DECISÃO DE DIRETORIA Nº 103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007.** São Paulo: CETESB, 2007. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2015/07/DD-103-07-C-E-Procedimento-para-Gerenciamento-de-%C3%81reas-Contaminadas.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2019.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI.** São Paulo: CETESB, 2016. Disponível em: <<https://areascontaminadas.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2013/11/6530.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2020.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas.** São Paulo: CETESB, 2013. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/>>. Acesso em: 22 mar. 2019.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Planilhas de Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação.** São Paulo: CETESB, 2009. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/planilhas-para-avaliacao/>>. Acesso em: 22 mar. 2019.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo.** Dorothy C. P. Casarini et al. São Paulo: 2001. 73 p. Disponível em: <http://myrtus.uspnet.usp.br/sef/dcms/app/webroot/uploads/arquivos/CETESB2001_Valores_Orientadores_solo_agua.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2019.

CIRINO, Cledson Gomes. **UTILIZAÇÃO DAS RELAÇÕES ENERGIA / UMIDADE HA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HIDRICA DOS SOLOS.** 1992. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992. Cap. 1. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/2881/1/CLEDSON%20GOME>

S%20CIRINO%20-%20DISSERTA%c3%87%c3%83O%20PPGEA%201992.pdf.

Acesso em: 10 jul. 2020.

CORREA, Tiana Pinho. **AVALIAÇÃO DO GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS POR HIDROCARBONETOS DERIVADOS DE PETRÓLEO EM POSTOS REVENDEDORES DE COMBUSTÍVEIS NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**. 2017. 140 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Departamento

de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

Disponível

em:

<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/165270/001044514.pdf?sequence=1>.

Acesso em: 12 jul. 2020.

CUNHA, Rodrigo César de Araújo. **Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas por Fontes Industriais Desativadas - Estudo de Caso**. 1997. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Recursos Minerais e Hidrogeologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-02042014-150225/en.php>>. Acesso em: 17 abr. 2019.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (União Europeia). **Overview of contaminants affecting soil and groundwater in Europe**. 2009. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/overview-of-contaminants-affecting-soil-and-groundwater-in-europe>>. Acesso em: 22 abr. 2019.

FERNANDES, Patrícia Rocha Maciel. **Determinação de valores orientadores de investigação para elementos-traço em solos de estado de Minas Gerais**. 2011. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/5481/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 09 abr. 2019.

FINOTTI, Alexandra R.; CAICEDO, Nelson O. Luna; RODRIGUEZ, Maria Teresa Raya. Contaminações Subterrâneas com Combustíveis Derivados de Petróleo: Toxicidade e a Legislação Brasileira. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Rio Grande do Sul, v. 6, n. 2, p.29-46, abr/jun. 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Nelson_Caicedo/publication/242756345_Contaminaco

es_Subterraneas_com_Combustiveis_Derivados_de_Petroleo_Toxicidade_e_a_Legislacao_Brasileira/links/5810ab4d08aee15d4914e32f/Contaminacoes-Subterraneas-com-Combustiveis-Derivados-de-Petroleo-Toxicidade-e-a-Legislacao-Brasileira.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2019.

FIOCRUZ (Brasil). **Toxicidade**. 2006. Disponível em: <http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/virtual%20tour/hipertextos/up1/toxidade.html>. Acesso em: 12 ago. 2020.

GONÇALVES, Adriano Dicesar Martins de Araújo; LIBARDI, Paulo Leonel. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 37, n. 5, p. 1174-1184, out. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832013000500007>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832013000500007. Acesso em: 10 ago. 2020.

GONÇALVES, José Augusto Costa; LENA, Jorge Carvalho de. Avaliação de risco à saúde humana por contaminação natural de arsênio nas águas subterrâneas e nos solos da área urbana de Ouro Preto (MG). **Geologia Usp. Série Científica**, [s.l.], v. 13, n. 2, p.145-158, 1 jun. 2013. Universidade de Sao Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. <http://dx.doi.org/10.5327/z1519-874x2013000200008>. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/guspssc/article/view/61739/64610>>. Acesso em: 26 mar. 2019.

ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council). 2018. *TPH Risk Evaluation at Petroleum-Contaminated Sites*. TPHRisk-1. Washington, D.C.: Interstate Technology & Regulatory Council, TPH Risk Evaluation Team. Disponível em: <<https://tphrisk-1.itrcweb.org>>. Acesso em: 26 mar 2020.

KOLESNIKOVAS, Celso; OLIVEIRA, Everton de; DUARTE, Uriel. AVALIAÇÃO DE RISCO TOXICOLÓGICO PARA HIDROCARBONETOS TOTAIS DE PETRÓLEO EM FORMA FRACIONADA APLICADA À GESTÃO E MONITORAMENTO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM UM COMPLEXO INDUSTRIAL. **Águas Subterrâneas**, [s.l.], v. 23, n. 1, p.31-44, 9 fev. 2009. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v23i1.12128>. Disponível em: <<https://doi.org/10.14295/ras.v23i1.12128>>. Acesso em: 01 abr. 2019.

LIMA, Suzy Darley de et al. Gerenciamento de áreas contaminadas por postos de combustíveis em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, Taubaté, Brasil, v. 12, n. 2, p.299-315, 1 jan. 2001. Bimestral. Universidade de Taubaté. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/928/92849898011.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

LIU, Xingmei et al. Human health risk assessment of heavy metals in soil–vegetable system: A multi-medium analysis. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 463-464, p.530-540, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.064>. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.064>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

M, Winge. **Gradiente Hidráulico**. 2014. Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Disponível em: http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/gradiente_hidraulico.htm. Acesso em: 10 jul. 2020.

MCNAIR, Harold M.; MILLER, James M. BASIC GAS CHROMATOGRAPHY. Wiley: A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, New Jersey, v. 1, n. 2, p. 1-26, jan. 2009. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/0f36/d2eebe9f97e4e90d3a2cec6135f7844535fe.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2020.

MICHELS, Cristiana. **AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA NOS TERMINAIS DE ARMAZENAMENTO DE PETRÓLEO E DERIVADOS DE BARUERI E CUBATÃO**. 2005. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental., Engenharia Sanitária e Ambiental., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/102766/221386.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

MINAS GERAIS (Estado). Deliberação Normativa Copam nº 217, de 06 de dezembro de 2017. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locacionais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. **Deliberação Normativa Copam Nº 217, de 06 de**

Dezembro de 2017. Minas Gerais, MG, 08 dez. 2017. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45558>>. Acesso em: 25 mar. 2019.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 2, de 02 de agosto de 2010.** Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. . Minas Gerais, MG, 29 dez. 2010. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=14670>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Inventário de Áreas Contaminadas do Estado de Minas Gerais: 2018.** Belo Horizonte, 2018. 27 p. Disponível em: <http://feam.br/images/stories/2019/DECLARACOES_AMBIENTAIS/Invent%C3%A1rio_d_e_AC_Final_RETIFICADO_4-1-19.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019.

MOURA, Antônia Angélica Correia de Araújo; CAFFARO FILHO, Roberto Augusto. Panorama do gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil após a resolução CONAMA 420/09. **Águas Subterrâneas**, [s.l.], v. 29, n. 2, p.202-212, 10 ago. 2015. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v29i2.27972>. Disponível em: <<https://doi.org/10.14295/ras.v29i2.27972>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

OKLAHOMA DEQ - LAND PROTECTION DIVISION OF THE OKLAHOMA DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL QUALITY (Eua). **The 2004 Land Report.** 2004. Disponível em: <<http://www.deq.state.ok.us/mainlinks/reports/landreport04.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2019.

PEREIRA, Eduardo Vinícius. **Hidrocarbonetos Totais de Petróleo (TPH Finger Print) como indicador de contaminação na água subterrânea por querosene de aviação (JET A-1).** 2012. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Gestão Ambiental, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo -ipt, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://cassiopea.ipt.br/teses/2012_TA_Eduardo_Vinicius.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2019.

PINEDO, Javier et al. Human Risk Assessment of Contaminated Soils by Oil Products: Total TPH Content Versus Fraction Approach. **Human And Ecological Risk Assessment: An**

International Journal, Países Baixos, v. 20, n. 5, p.1231-1248, 14 mar. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2013.831264>. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/259190239_Human_Risk_Assessment_of_Contaminated_Soils_by_Oil_Products_Total_TPH_Content_Versus_Fraction_Approach>. Acesso em: 22 abr. 2019.

SÃO PAULO (Estado). Decisão de Diretoria nº 103, de 22 de junho de 2007. Dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas. **Decisão de Diretoria Nº 103/2007/c/e, de 22 de Junho de 2007**. 1. ed. São Paulo, SP, 22 jun. 2007. CETESB. Disponível em: <<http://www.cvs.saude.sp.gov.br/up/Procedimento%20para%20gerenciamento%20de%20AC.pdf>>. Acesso em: 04 maio 2019.

SIDRA IBGE (Brasil). **Pesquisa de Orçamentos Familiares**. 2010. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/2645>. Acesso em: 04 ago. 2020.

SIDRA IBGE (Brasil). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua trimestral**. 2010. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6373>. Acesso em: 06 set. 2020.

SOLOMONS, T. W. G. , FRUHLE, C. B. , Química Orgânica, 7ª edição, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A ., Rio de Janeiro, 2001,p. 76-77.

USEPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. . **Guidelines for Exposure Assessment**. 1992. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-11/documents/guidelines_exp_assessment.pdf. Acesso em: 05 ago. 2020.

USEPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. . **Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment)**. 2004. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/part_e_final_revision_10-03-07.pdf. Acesso em: 08 set. 2020.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY United States Government. **Regional Screening Levels (RSLs) - Generic Tables**. 2020. Disponível em:

<https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-generic-tables>. Acesso em: 02 jun. 2020.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Agency For Toxic Substances And Disease Registry. U.s. Department Of Health And Human Services. **TOXICOLOGICAL PROFILE FOR TOTAL PETROLEUM HYDROCARBONS (TPH)**. 1999. Disponível em: <<https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp123.pdf>>. Acesso em: 04 maio 2019.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. United States Government. **Provisional Peer-Reviewed Toxicity Values for Complex Mixtures of Aliphatic and Aromatic Hydrocarbons**. 2009. Disponível em: <https://cfpub.epa.gov/ncea/pprtv/documents/TotalPetroleumHydrocarbonsAliphaticHigh.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2020.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Usa Government. **What are Total Petroleum Hydrocarbons (TPH)?** 2002. Disponível em: <https://www3.epa.gov/region1/eco/uep/tp.html>. Acesso em: 25 ago. 2020.

USEPA -. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidance on Selecting Age Groups for Monitoring and Assessing Childhood Exposures to Environmental Contaminants**. 2005. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2013-09/documents/agegroups.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2020.

VORHEES, Donna J.; BUTLER, Cheri L.. Calculation of Human Health Risk-Based Screening Levels (RbSLs) for Petroleum. **Drug And Chemical Toxicology**, [s.l.], v. 22, n. 1, p.293-310, jan. 1999. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.3109/01480549909029737>. Disponível em: <<https://doi.org/10.3109/01480549909029737>>. Acesso em: 27 mar. 2019.

WADOE - Washington State Department of Ecology Department Of Environmental Protection. **Characterizing Risks Posed by Petroleum Contaminated Sites: implementation of the madep vph/eph approach**. Implementation of the MADEP VPH/EPH Approach. 2002. Disponível em: <https://www.mass.gov/files/documents/2016/08/oj/02-411.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2020.

APÊNDICE I – Dados de relatórios da Gerência de áreas contaminadas da FEAM

Dados Gerência de Áreas Contaminadas - FEAM/2020

Nº SEI - Sistema Eletrônico de Informações	COORDENADA GEOGRÁFICA	PROFUNDIDADE NÍVEL D'ÁGUA MÉDIA [m]	Nº DE POÇOS DE MONITORAMENTO	GRADIENTE HIDRÁULICO [m/m]	POROSIDADE TOTAL [m³/m³]	POROSIDADE EFETIVA [m³/m³]	CONDUTIVIDADE E HIDRAULICA [cm/s]	CONDUTIVIDADE DE HIDRÁULICA
1500.01.0053032/2019-05	-19.967606, -44.211084	3,520	59	-	-	-	-	-
1500.01.0053053/2019-20	-20.113844, -43.402771	3,840	14	-	-	-	-	-
2090.01.0000005/2020-39	-19.902274, -49.363603	5,970	1	-	-	-	-	-
1500.01.0000921/2020-14	-19.955020, -44.116870	5,180	17	-	-	-	-	-
2090.01.0000099/2020-23	-19.958513, -44.125050	19,450	21	0,05755	0,4075	0,0345	2,84E-04	24,547968
1500.01.0003202/2020-22	-21.699268, -43.424617	3,580	42	0,145	-	0,2	7,33E-04	63,3312
2090.01.0004544/2019-97	-19.964131, -44.095062	5,630	34	0,011	0,4776	0,1172	9,85E-05	8,5104
2090.01.0004535/2019-49	-19.987953, -44.101091	4,240	17	0,046	0,4172	0,0863	3,02E-04	26,0928
2090.01.0000246/2020-31	-19.618854, -43.958346	35,610	33	0,48	0,4	0,0706	6,36E-05	5,496768
1500.01.0009919/2020-53	-19.972679, -44.115644	11,070	24	-	-	-	9,53E-05	8,23392
2090.01.0000800/2020-11	-15.829400, -43.296192	9,980	3	0,0346	-	0,1	6,52E-04	56,3328
2090.01.0000045/2019-29	-20.151002, -41.620713	1,850	21	0,0383	-	0,05	6,30E-07	0,054432
1500.01.0000337/2019-71	-18.175398, -41.706642	4,130	8	0,07	-	-	-	-
2090.01.0000331/2019-67	-17.532232, -44.766342	9,240	4	-	-	-	-	-
1500.01.0006042/2019-72	-18.912972, -48.264444	7,560	10	0,0722	0,508	0,129	2,02E-05	1,74528
2090.01.0001109/2019-13	-18.653822, -48.201436	18,200	4	0,0039	-	0,12	9,81E-05	8,47584
1500.01.0009899/2019-14	-21.789271, -46.566507	-	-	0,0084	0,592	0,018	1,44E-06	0,1240272
1500.01.0010349/2019-86	-19.830773, -43.861155	6,070	21	0,3	0,67	0,029	7,39E-05	6,38496
2090.01.0002070/2019-62	-19.897657, -43.908966	4,350	5	0,01091	0,441	0,0452	-	-
1500.01.0016590/2019-68	-18.912323, -41.941743	1,120	38	0,36	-	0,25	1,39E-06	0,120096
1500.01.0018581/2019-49	-18.884112, -48.308212	9,630	13	0,085	0,532	0,024	9,56E-05	8,25984
1500.01.0020288/2019-35	-19.741688, -45.255290	22,910	38	0,0725	-	0,18	2,97E-04	25,6608
1500.01.0022364/2019-49	-19.934131, -44.034581	1,410	13	-	-	-	-	-
2090.01.0002785/2019-60	-18.968021, -49.488958	2,800	5	0,019	0,462	0,047	4,39E-05	3,79296
2090.01.0002957/2019-72	-21.181585, -43.755961	6,160	6	-	-	0,26	1,83E-04	15,8112
2090.01.0002925/2019-63	-18.889792, -41.945983	6,750	9	0,025	-	0,05	3,83E-08	0,00330912
1500.01.0025961/2019-27	-19.965887, -44.182026	3,770	21	-	0,313	0,0836	-	-
1500.01.0026451/2019-86	-20.052833, -44.282992	9,294	20	-	-	-	-	-
1500.01.0028341/2019-78	-19.940106, -44.025854	1,040	7	0,05	0,32	0,032	7,78E-05	6,72192
1500.01.0028031/2019-09	-15.496426, -44.370806	5,730	9	0,0082	0,345	0,14	3,61E-05	3,11904
1500.01.0029182/2019-69	-21.822095, -46.633799	3,660	24	-	-	-	-	-
2090.01.0003409/2019-90	-22.431790, -45.449270	3,167	10	0,07	-	-	7,28E-05	6,28992
2090.01.0003575/2019-70	-18.603387, -46.516919	4,361	10	0,01	0,285	0,0613	4,42E-04	38,1888
2090.01.0003702/2019-36	-19.953822, -44.103417	10,170	12	0,022	-	0,087	2,58E-04	22,2912
1500.01.0040879/2019-82	-18.889792, -41.945983	6,985	18	0,02	-	0,05	3,83E-06	0,330912
2090.01.0004151/2019-38	-18.987852, -48.412959	18,870	3	0,005	-	-	-	-
1500.01.0041880/2019-21	-21.976377, -45.343642	3,565	9	0,028	-	-	-	-
1500.01.0043441/2019-69	-22.118040, -45.058176	1,400	29	-	-	-	-	-
1500.01.0042750/2019-05	-19.959953, -44.123924	18,960	11	0,0356	-	0,1	1,72E-05	1,48608
1500.01.0049228/2019-87	-18.044589, -41.110681	8,960	11	-	-	-	-	-
1500.01.0008517/2018-83	-19.636025, -48.852754	2,300	4	0,008	-	-	2,26E-04	19,5264
1500.01.0008980/2018-95	-21.786734, -46.559345	3,475	8	-	-	-	-	-
1500.01.0008978/2018-52	-19.377771, -42.109490	2,350	15	-	-	-	-	-
1500.01.0009183/2018-46	-18.681150, -41.988336	6,810	11	0,011	-	0,05	1,48E-05	1,27872
1500.01.0009343/2018-91	-19.947951, -44.024631	7,870	13	-	-	-	-	-
1500.01.0009626/2018-16	-18.510443, -42.082543	2,020	9	-	-	-	-	-
1500.01.0009635/2018-64	-20.147063, -44.878975	7,980	18	-	-	-	-	-
1500.01.0009864/2018-89	-22.479994, -46.011075	3,460	47	-	-	0,07	-	-
1500.01.0010051/2018-84	-19.583703, -46.937740	4,385	12	-	-	-	-	-
2090.01.0000732/2018-10	-21.740518, -43.383806	4,500	7	-	-	-	-	-
1500.01.0010258/2018-24	-20.074762, -44.302853	1,760	18	-	-	-	-	-
1500.01.0009182/2018-73	-18.859803, -48.288262	11,180	3	-	-	-	-	-
1500.01.0010442/2018-03	-22.333688, -45.091585	1,690	7	-	-	-	-	-
1500.01.0010809/2018-85	-18.956093, -49.455820	5,523	4	-	-	-	-	-
1500.01.0010684/2018-65	-19.899747, -49.367390	5,058	8	-	-	-	-	-
1500.01.0010579/2018-87	-18.991994, -48.394698	8,526	30	-	-	-	-	-
1500.01.0011222/2018-89	-21.468173, -43.544660	2,463	9	0,1157	-	0,025	5,10E-05	4,4064
2090.01.0000802/2018-60	-19.999726, -47.898256	6,700	36	-	-	-	-	-
1500.01.0011521/2018-67	-16.745155, -43.861381	10,518	12	-	-	-	-	-
1500.01.0011485/2018-69	-21.785362, -46.589532	1,314	21	-	-	-	-	-
1500.01.0012093/2018-46	-19.970081, -44.205211	3,291	16	-	-	-	-	-
1500.01.0013293/2018-44	-18.971571, -49.460340	7,980	32	-	-	0,026	1,54E-04	13,3056
1500.01.0013446/2018-84	-22.279791, -46.368713	5,516	4	-	-	-	-	-
1500.01.0014779/2018-80	-19.976406, -44.199988	15,800	41	-	-	-	-	-
1500.01.0014922/2018-02	-20.164464, -42.521765	2,380	12	-	-	-	-	-
1500.01.0014543/2018-50	-19.483903, -42.529956	24,044	53	-	-	-	1,35E-03	116,64
1500.01.0015585/2018-46	-16.718996, -43.863587	1,290	23	-	-	0,027	4,32E-05	3,73248
1500.01.0015734/2018-97	-19.834719, -43.850170	6,330	1	-	-	-	-	-
1500.01.0015871/2018-84	-20.658450, -43.787023	4,860	15	-	-	-	-	-
1500.01.0016592/2018-17	-19.966009, -44.182025	6,830	16	-	-	-	-	-
1500.01.0016500/2018-76	-20.658729, -43.797046	2,740	14	-	-	-	-	-
1500.01.0016500/2018-76	-19.899950, -43.909086	6,226	8	0,0221	0,41	0,07	1,44E-04	12,45024
1500.01.0018262/2018-32	-21.66765, -45.324208	4,544	12	0,034	-	0,05	1,96E-07	0,0169344
1500.01.0018073/2018-91	-18.565529, -41.233008	2,250	9	-	-	-	-	-
1500.01.0018196/2018-68	-20.608942, -43.787663	4,380	2	-	-	-	-	-
1500.01.0017956/2018-49	-21.483250, -43.540164	1,900	3	-	-	0,26	2,59E-04	22,3776
1500.01.0017901/2018-79	-18.872469, -41.966727	5,600	15	-	-	0,04	7,12E-04	61,54272
1500.01.0017350/2018-18	-15.829416, -43.296214	9,693	4	-	-	-	-	-
2090.01.0001557/2018-45	-22.659303, -45.854659	3,683	8	-	-	-	-	-
2090.01.0001534/2018-84	-20.508148, -44.473436	3,233	16	-	-	-	-	-
2090.01.0001535/2018-57	-18.510443, -42.082543	2,264	9	-	-	-	-	-
1500.01.0019043/2018-91	-19.953822, -44.103417	10,959	16	0,022	-	0,087	2,58E-04	22,2912
1500.01.0019020/2018-33	-19.495933, -42.127959	14,226	10	-	-	-	-	-
1500.01.0019484/2018-18	-19.969602, -44.204789	5,299	16	-	-	-	-	-
1500.01.0019119/2018-76	-18.821171, -48.249344	2,224	28	0,045	-	-	-	-
1500.01.0019924/2018-69	-19.377467, -42.109447	2,780	15	-	-	-	-	-
1500.01.0020175/2018-82	-19.747944, -47.940038	3,877	3	-	-	-	2,98E-05	2,57472
2090.01.0001624/2018-79	-18.681150, -41.988336	7,409	11	0,015	-	0,05	7,67E-08	0,00662688
1500.01.0020368/2018-12	-20.072373, -44.579510	6,991	27	-	0,43	-	-	-

1500.01.0020389/2018-27	-19.477178,-44.206099	11,076	15	-	-	-	-	-
1500.01.0020933/2018-83	-19.684488,-43.984653	11,968	6	0,02	-	0,2	3,26E-05	2,81664
1500.01.0020531/2018-73	-19.930971,-43.466354	10,771	16	-	-	-	8,81E-05	7,60752
1500.01.0021147/2018-28	-18.603359,-46.516952	5,426	4	-	-	-	-	-
1500.01.0021248/2018-17	-20.000529,-44.179984	5,600	3	-	-	-	-	-
1500.01.0022033/2018-65	-20.414856,-42.901322	3,612	14	-	-	-	-	-
1500.01.0021790/2018-30	-20.428262,-43.866652	7,735	4	-	-	-	-	-
1500.01.0022184/2018-62	-19.966104,-44.203252	5,014	9	-	0,415	-	3,75E-04	32,4
1500.01.0022129/2018-92	-20.117872,-44.841668	5,370	10	-	-	-	-	-
2090.01.0001767/2018-98	-19.767778,-42.130000	2,550	6	-	-	-	-	-
1500.01.0022709/2018-49	-18.915983,-48.280125	3,450	10	-	-	-	-	-
1500.01.0024008/2018-90	-19.776862,-47.944967	11,320	32	-	-	-	-	-
1500.01.0024020/2018-57	-19.158636,-45.445533	8,171	7	-	-	-	-	-
2090.01.0001798/2018-37	-19.237080,-44.022473	10,930	1	-	-	-	-	-
1500.01.0023004/2018-38	-21.146924,-43.765298	4,030	46	-	-	-	-	-
1500.01.0024633/2018-93	-19.696642,-43.958035	3,081	7	-	-	-	-	-
1500.01.0024654/2018-11	-19.888351,-43.978437	4,261	29	0,0052	-	0,05	1,81E-05	1,56384
1500.01.0025031/2018-17	-21.751667,-43.350056	3,873	3	-	-	-	-	-
1500.01.0025059/2018-37	-19.558309,-46.969411	10,922	42	-	-	0,18	-	-
1500.01.0025199/2018-40	-19.625610,-43.226194	1,659	7	-	-	-	-	-
1500.01.0025661/2018-79	-22.431802,-45.449268	5,404	6	-	-	-	7,28E-05	6,28992
2090.01.0001868/2018-87	-19.614283,-44.038681	5,096	5	-	-	-	-	-
1500.01.0025764/2018-14	-19.666069,-46.056419	6,682	14	0,008	-	0,05	2,22E-05	1,91808
1500.01.0025601/2018-50	-21.798004,-45.460011	9,960	34	-	-	0,067	-	-
2090.01.0001968/2018-06	-22.423597,-45.468878	9,070	5	-	-	-	-	-
1500.01.0027655/2018-76	-20.907283,-42.027097	5,167	3	-	-	-	-	-
1500.01.0028048/2018-38	-20.072285,-44.579209	6,996	25	-	0,43	-	-	-
1500.01.0028019/2018-45	-18.917989,-48.261102	7,100	23	0,0763	-	-	5,20E-08	0,0044928
2090.01.0002064/2018-33	-19.937114,-44.069510	8,640	1	-	-	-	1,13E-05	0,97632
1500.01.0000267/2019-21	-20.024127,-45.542361	3,278	11	-	-	-	-	-
2090.01.000030/2019-46	-19.977194,-47.890226	-	-	-	0,3	0,2	1,56E-04	13,4784
2090.01.0000064/2019-98	-19.955543,-44.105744	9,520	35	-	-	0,067	-	-
1500.01.0028001/2018-46	-21.667086,-45.324464	4,544	12	0,034	-	0,05	1,96E-05	1,69344
2090.01.0000062/2019-55	-18.889792,-41.945983	7,580	3	0,008	-	0,05	9,49E-06	0,819936
2090.01.0000512/2019-30	-18.987852,-48.412959	18,873	3	0,005	-	-	-	-
2090.01.0000851/2019-92	-20.078469,-45.565857	5,238	4	-	-	-	-	-
2090.01.0000854/2019-11	-19.580829,-43.274030	12,910	2	-	-	-	-	-
1500.01.0010111/2019-13	-21.445924,-42.878812	12,850	3	0,32	-	0,2	4,33E-06	0,374112
2090.01.0001303/2019-13	-19.391117,-41.229725	9,070	4	-	-	-	-	-
1500.01.0011817/2019-26	-19.747876,-47.940026	3,877	3	-	-	-	2,98E-05	2,57472
1500.01.0012313/2019-20	-19.982949,-43.857122	1,730	13	-	-	-	-	-
1500.01.0019858/2019-05	-20.152974,-44.881143	7,679	15	-	-	-	-	-
2090.01.0002576/2019-77	-22.423871,-45.969851	9,480	3	-	-	-	-	-
1500.01.0021326/2019-42	-19.798889,-43.880556	7,180	15	0,015	-	0,07	4,23E-05	3,65472
2090.01.0003317/2019-52	-20.019761,-44.070206	8,956	8	0,031	-	0,05	8,10E-06	0,69984
2090.01.0003881/2019-53	-20.113947,-43.402700	3,040	10	0,1055	-	0,05	2,33E-06	0,201312
1500.01.0037744/2019-46	-19.750833,-47.936667	11,793	9	-	0,439	0,03	6,37E-05	5,5008
1500.01.0049227/2019-17	-19.801653,-42.137589	2,397	7	0,024	-	0,05	5,63E-06	0,4862592
2090.01.0004528/2019-44	-19.972757,-44.096198	2,200	54	-	0,399733333	0,039	3,59E-04	31,0176
2090.01.0000246/2020-31	-19.618786,-43.958350	35,610	34	0,048	0,4041125	0,0706	6,36E-05	5,496768
2090.01.0000597/2020-60	-20.507711,-42.799928	9,758	4	-	-	-	-	-
2090.01.0000921/2020-42	-20.661228,-44.070906	-	-	-	-	-	2,75E-04	23,76
2090.01.0000936/2020-25	-22.039294,-45.686711	4,657	3	0,0122	-	0,06	6,60E-04	57,024
2090.01.0001888/2020-26	-18.852847,-41.970172	3,540	2	-	-	-	-	-
2090.01.0000818/2019-13	-19.940106,-44.025854	1,312	5	-	-	-	-	-
2090.01.0001166/2019-26	-19.113862,-48.662231	7,388	6	-	-	-	7,98E-06	0,68976
2090.01.0002207/2019-49	-19.744971,-43.956608	1,788	5	-	-	-	-	-
2090.01.0002423/2019-37	-21.976388,-45.343654	1,760	4	-	-	-	-	-
1500.01.0019080/2019-59	-20.534417,-43.821300	5,296	18	-	-	-	-	-
2090.01.0002775/2019-39	-16.729231,-43.869983	3,303	3	-	-	-	-	-
2090.01.0004088/2019-90	-18.645818,-48.195153	10,560	3	-	-	-	-	-
1370.01.0006065/2020-60	-19.972611,-44.115648	9,346	17	-	-	-	2,24E-05	1,93536
1500.01.0000084/2019-15	-19.970081,-44.205211	3,098	16	-	-	-	-	-
1500.01.0001708/2019-11	-16.361030,-46.903665	7,698	4	-	-	-	-	-
1500.01.0003122/2019-51	-19.666140,-46.933527	34,671	110	-	-	-	-	-
2090.01.0000376/2019-16	-21.300283,-45.151350	7,016	14	-	-	-	-	-
1500.01.0004380/2019-35	-18.870951,-41.966689	5,640	25	-	-	-	6,15E-04	53,136
1500.01.0004803/2019-60	-19.616894,-43.227233	2,481	20	-	-	-	-	-
2090.01.0000500/2019-63	-16.747165,-43.876224	2,137	3	-	-	-	-	-
2090.01.0000652/2019-33	-20.508592,-44.473809	3,150	16	-	-	-	-	-
1500.01.0008591/2019-22	-20.864064,-46.385366	2,850	5	-	-	-	5,05E-04	43,632
1500.01.0008247/2019-95	-19.875083,-43.873861	1,560	17	-	-	-	-	-
2090.01.0000866/2019-75	-20.658450,-43.787023	5,180	15	-	-	-	-	-
2090.01.0001308/2019-72	-19.328745,-41.254948	7,830	4	-	-	-	-	-
2090.01.0001499/2019-56	-19.323936,-45.234889	9,020	7	-	-	-	-	-
1500.01.0010829/2019-27	-18.821140,-48.249383	2,515	-	0,042	-	-	-	-
2090.01.0001683/2019-35	-18.845186,-41.932546	4,440	26	-	-	-	-	-
2090.01.0001698/2019-18	-18.965334,-49.500198	12,550	69	0,075	-	-	-	-
1500.01.0011833/2019-79	-19.947951,-44.024631	8,411	16	-	-	-	-	-
1500.01.0011930/2019-79	-21.736861,-43.389438	5,467	45	-	-	-	-	-
1500.01.0012598/2019-85	-16.718996,-43.863587	1,290	23	-	-	0,027	4,32E-05	3,73248
1500.01.0013850/2019-37	-20.144417,-44.886528	4,183	14	-	-	-	-	-
2090.01.0002216/2019-97	-21.147000,-43.765370	3,400	17	-	-	-	-	-
2090.01.0002190/2019-23	-19.902275,-49.363604	5,719	9	-	-	-	-	-
2090.01.0002211/2019-38	-19.768293,-42.130075	2,550	6	-	-	-	-	-
1500.01.0014596/2019-71	-20.153647,-41.625134	3,890	3	-	-	-	-	-