

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

RENAN FIGUEIREDO SILVEIRA SALGADO

ANÁLISE DE MERCÚRIO EM SOLOS ALUVIAIS NO ESTADO DO AMAZONAS

VIÇOSA – MINAS GERAIS

2016

RENAN FIGUEIREDO SILVEIRA SALGADO

ANÁLISE DE MERCÚRIO EM SOLOS ALUVIAIS NO ESTADO DO AMAZONAS

**Monografia apresentada ao Curso de Geografia
Da Universidade Federal de Viçosa como
Requisito para obtenção do título de bacharel
Em Geografia.**

Orientador: Prof. José João Lelis Leal de Souza

Coorientador: Prof. André Luiz Lopes de Faria

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2016**

RENAN FIGUEIREDO SILVEIRA SALGADO

ANÁLISE DE MERCÚRIO EM SOLOS ALUVIAIS NO ESTADO DO AMAZONAS

Monografia, apresentada ao Curso de Geografia da Universidade Federal de Viçosa como requisito para obtenção do título de bacharel em Geografia.

APROVADA: 21 de novembro de 2016.

Prof. José João Lelis Leal de Souza
(Orientador)
(UFV)

Prof. André Luiz Lopes de Faria
(Coorientador)
(UFV)

Prof. Pablo de Azevedo Rocha
(UFV)

Prof. José Furtado de Miranda
(UFV)

Agradecimentos

Mais uma parte da vida se encerra e outra se inicia, e eu gostaria de agradecer as pessoas que tornaram possível finalizar esta parte da minha vida. Agradecer primeiramente aos meus pais pelo apoio, incentivo e por toda dedicação em sempre dispostos a me ouvir mesmo que fosse para reclamar e pela paciência que tiveram comigo. Obrigado por tudo pai e mãe.

Agradeço ao meu padrinho Cláudio que sempre esteve presente quando eu mais precisei, e me acompanhou durante todos os procedimentos em BH no tratamento do ceratocone além das conversas e conselhos. Obrigado.

A toda minha família, primeiramente a minha avó que me alfabetizou e sempre teve uma paciência gigante para me ensinar. Obrigado vó. Agradecer aos meus primos e tios que sempre quando conversei com eles todos tinham um conselho a me dar.

Ao João que me deu uma grande força ao longo do curso sempre me incentivando a continuar. Obrigado irmão. Agradeço aos novos amigos que conquistei e aos velhos amigos Kevin, Arthur, Chárbel, Hugo, Cecilia, Luís, Lucas, Ian, Zaca, Luan, Amandinha, Isa, Matheus, Alexandre, Barbará, Yago, Marcinho, Luiza, Eliza, Laís, Maju, Shelb. Ao Gabriel pela ajuda na monografia, ao Renato pela paciência e suporte durante as análises no laboratório. Entre outros que me ajudaram a chegar até aqui sempre dando força e conselhos.

Agradecer ao meu orientador, amigo e grande professor José João Lelis Leal de Souza o JJ que me ajudou muito no caminho do curso com suas aulas fantásticas, com seus conselhos e sua sabedoria, boas conversas, pela oportunidade de estágio e pela paciência com minhas duvidas. Muito obrigado por tudo

Agradecer ao Prof. e amigo André Luiz Lopes de Faria pelas conversas boas, pelo aprendizado na graduação, e por estar sempre disposto a ouvir e tirar as dúvidas que tive. A todos os professores do departamento que contribuíram de algum modo pra minha formação.

Muito obrigado a todos!

“Que vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”

Charles Chaplin

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo gerar dados sobre a quantidade de mercúrio (Hg) em solos aluviais no estado do Amazonas. A floresta Amazônica possui a maior diversidade biológica no mundo e uma grande fonte de água doce. Contaminação de águas e seres humanos por mercúrio na floresta amazônica tem sido relatada e associada à mineração de ouro. Este trabalho é a primeira determinação do mercúrio em solos aluviais na floresta tropical. As análises foram realizadas em amostras coletadas na camada superficial (0-20 cm). Os solos aluviais da Amazônia são, na sua maioria, ácidos e, em geral, siltosos. Oitenta e três por cento das amostras apresentaram valores de teor de Hg abaixo de $0,9 \text{ mg / kg}^{-1}$ para serem vistos como linha de base regional. Os valores de Hg do estado do Amazonas são superiores aos valores verificados em outros estados brasileiros. Mas seus valores são mais baixos em relação a média mundial e algumas antigas áreas de mineração de diferentes países. Os valores de Hg desta pesquisa são superiores aos valores de trabalhos anteriores realizados no estado do Amazonas. Contaminação foi detectada próxima da cidade de Manaus. O material de base dos solos da planície de inundação tem a mesma origem, dando assim algumas características semelhantes entre as amostras. A principal preocupação do Hg no ambiente é a incorporação a quase todas as espécies aquáticas através da cadeia alimentar, incluindo o plâncton, os peixes de herbívoro e os carnívoros. Devido ao longo tempo de permanência no corpo ao longo da cadeia alimentar, que restará numa concentração mais elevada. Assim, concentrações mais elevadas de Hg estão em populações humanas que têm a pesca como principal dieta.

Palavras-chave: Background geoquímico, mineração, floresta tropical, metais pesados.

ABSTRACT

The present study aimed to generate data on the amount of mercury (Hg) in alluvial soils in the state of Amazonas. Amazon rainforest host the bigger biological diversity in in the world and a great spring of fresh water. Contamination of waters and humans by mercury in Amazonian rainforest has been reported and associated to mining of gold. This work is the first determination of mercury in alluvial soils in the rainforest. Analyzes were performed on samples collected in the superficial layer (0-20 cm). The alluvial soils of the Amazon are mostly acidic and generally silty. Eighty-three percent of samples presented values of Hg content below $0,9 \text{ mg/kg}^{-1}$ to be seen as the regional baseline. The Hg values of the state of Amazonas are higher than the values verified in other Brazilian states. But its values are lower than the world average and some old mining areas of different countries. The Hg values of this research are superior to the values of previous works done in the state of Amazonas. Contamination has been detected close to Manaus city. The source material of the floodplain soils has the same origin, thus giving some similar characteristics between the samples. The major concern of Hg in the environment is the incorporation to almost all aquatic species via the food chain, including plankton, herbivorous fish and carnivorous. Due to the long residence time in the body along the food chain that will result in a higher concentration. Thus higher concentrations of Hg are in human populations that have fishing as their main diet.

Keywords: Geochemical background, mining, rain forest, Heavy metals.

SUMÁRIO

Agradecimentos	V
Resumo	VI
Abstract	VII
Sumario	VIII
1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Relações do mercúrio com a população do Amazonas	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	17
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	24
7. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1. INTRODUÇÃO

O mercúrio (Hg) é raro na Terra, porém tem uma atenção voltada em si devido às suas inúmeras aplicações e devido à sua toxicidade. O Hg é utilizado pela humanidade desde os tempos remotos, os Egípcios sabiam como utilizar a amalgamação, e na medicina a China e a Índia o utilizavam no século VI aC, na Grécia no mesmo período, o Hg era retirado de minerais e aplicado a medicina. (STEINNES, 1995).

O domínio morfoclimático da Amazônia presente no estado do Amazonas é de extrema importância para o mundo, estende-se do oceano Atlântico até as encostas orientais da Cordilheira dos Andes AZIZ AB'SÁBER, (1977), abrangendo cerca de 5% da superfície terrestre do planeta e ocupa cerca de 40% do território brasileiro, ocupando áreas de três grandes regiões (Norte, Nordeste, Oeste) (MORAIS, 2012). O domínio morfoclimático da Amazônia representa cerca de 30% de todas as florestas tropicais remanescentes do mundo, com 53 grandes ecossistemas e mais de 600 tipos diferentes de habitat terrestre e de água doce, com cerca de 45.000 espécies de plantas e vertebrados. (BRASILEIRO, 2010).

Totalmente inserido no domínio morfoclimático da Amazônia. O estado do Amazonas ocupa mais de 18% do território e detém 98% de sua cobertura vegetal preservada (IBGE, 2010; IBGE, 2011; SOARES; HIGUCHI, 2006). Além disso, o estado possui um dos maiores mananciais de água doce do mundo sendo banhado pelo maior rio do mundo o Amazonas. (CPRM, 2010).

No século XX o látex começou a ser extraído para exportação em 1827, como matéria prima. Tal fato acarretou transformações socioculturais, formando vilas e povoados, na beira de rios, que depois deram origem as cidades de Manaus, Porto Velho, Belém entre outras. (D'AGOSTINI *et al.*, 2003).

Com o declínio do comércio da borracha e a crise generalizada na economia extrativa no início do século XX a porção norte do Brasil ficou em segundo plano em relação ao planejamento estatal e as políticas de desenvolvimento nacional. Em 1970 a mineração de ouro teve início por meio de extração manual ou de baixa tecnologia, se iniciou como fenômeno espontâneo, mas logo em seguida foi ordenada pelo Estado Brasileiro (FEDERAL *et al.*, 2015).

De acordo com REIS *et al.* (2006) o ouro apresenta ampla distribuição no estado do Amazonas, ocorrendo nos municípios de Maués ao leste de Manaus, Humaitá cortado pelo rio Madeira, Manicoré, Novo Aripurã onde ambos os municípios são cortados pelo rio Madeira, Apui ao sul de Manaus, Japurá na divisa com a Colômbia, Barcelos, Santa Isabel do Rio Negro e São Gabriel da Cachoeira que são municípios cortados pelo rio Negro, sendo minerado por empresas e Cooperativas. O Hg é utilizado na separação do ouro na atividade do garimpo, ele é evaporado ou despejado em cursos d'água tornando a atividade uma das principais impactantes ao meio ambiente. (QUINÁGLIA, 2006).

A taxa de desmatamento do domínio morfoclimático da Amazônia, oscila de acordo com as mudanças relacionadas às forças econômicas e pressões políticas (FEARNSIDE, P. M., 2006; INPE, 2015). Alguns estudos demonstram que o desmatamento amazônico, apesar da recente redução nas suas taxas, poderá aumentar nas décadas futuras. Estima-se que em 2050 mais da metade da Amazônia brasileira estará desmatada ou degradada em decorrência da exploração de madeira e do fogo, caso o padrão de ocupação siga a trajetória das últimas duas décadas. (FEARNSIDE, P., 2004).

Neste cenário de acordo com ALMEIDA *et al.*, (2009) os solos das florestas são como reservatórios que possuem uma significativa quantidade de Hg incorporada em seu meio através dos longos anos de acúmulo, desta forma o desmatamento pode fazer com que o mercúrio contido no meio ambiente seja disperso e transportado para os rios, isso se torna altamente alarmante, pois o estado é um dos maiores mananciais de água doce do mundo e sofre influência de fatores naturais como precipitação, vegetação e altitude (IBGE, 2011; IBGE, 2012; IBGE, 2015b). As queimadas descontroladas podem fazer com que o Hg entre nas correntes de ar, se dispersando por áreas mais afastadas que de acordo com UNEP, (2013a) dependendo da região o mercúrio na atmosfera pode contribuir com cerca de 10% a 30% da deposição anual, aumentando conforme menor a latitude, devido a radiação solar, altas concentrações de oxidantes e alta precipitação, que são as características do estado do Amazonas.

Raro, porém com extração e purificação simples, o Hg ocorre na forma mineral, sendo o cinábrio o mineral mais abundante, principalmente no leste europeu na Espanha, México e Argélia. Como é apresentado na figura 1 as principais minas de cinábrio do mundo. O Brasil não minera Hg, sendo desconhecida a existência de depósitos economicamente mineráveis (BRASIL, 2011).



Figura 1 Localização das principais minas produtoras de Hg no mundo. No canto inferior esquerdo um exemplo do mineral cinábrio Fonte (BRASIL, 2011)

São escassos os estudos que determinam teores naturais de Hg em solos tropicais, devido a dificuldades analíticas nas etapas de preparo e digestão das amostras. (BIONDI, 2010). E de acordo com a UNEP, (2013b) um solo poluído pode conter cerca de 400 gramas de mercúrio por hectares.

O esgotamento das jazidas de ouro tem causado uma diminuição considerável nas atividades garimpeiras no Amazonas, que passou de 100 toneladas por ano nos anos 80 para pouco menos de 30 toneladas por ano já no final dos anos 90. Apesar da queda na produção de ouro também representar uma queda nas taxas de emissão atmosférica e ambiental de mercúrio, o passivo ambiental que foi deixado pelos mais de 10 anos de atividade garimpeira é enorme. Estima-se que nesta última corrida do ouro (anos 80 e início dos 90) a quantidade de mercúrio lançada no ambiente tenha ultrapassado as duas mil toneladas (WASSERMAN; HACON, 2001).

Pesquisadores canadenses e brasileiros realizaram um estudo que segundo eles o mercúrio formaria algum tipo de complexo com o ferro. A natureza destes complexos é ainda uma incógnita. Já que a relação entre estes dois metais foi detectada a partir de coeficientes de correlação feitos em perfis de solo. Segundo estes autores esta associação seria amplamente verificável em toda a Amazônia e assim o mercúrio teria uma origem natural e não antropogênica como se imaginava. Neste mesmo estudo foram realizados balanços das emissões oriundas da retirada de ouro no Amazonas e os autores chegaram à conclusão que seria necessários dez vezes mais garimpo para justificar as quantidades observadas (GUIMARÃES *et al.*, 2000).

Porém alguns pontos importantes não foram considerados sendo o primeiro a falta de representatividade das amostras coletadas, já que os estudos foram realizados de maneira muito pontual (região do rio Tapajós). Outro ponto importante que foi de certo modo negligenciado no estudo foi a identificação do tipo de solo. Na Amazônia os solos têm características químicas muito variadas e os mecanismos de fixação de mercúrio em determinado tipo de solo podem não ocorrer em outros tipos. (WASSERMAN; HACON, 2001).

A análise do mercúrio nos solos aluviais do Amazonas se torna importante devido a cadeia trófica no ambiente. Estes solos poderão ser utilizados para a agricultura assim algumas plantas podem metabolizar o Hg, e da agricultura pode se ter o desmatamento e o uso de fertilizantes que acarreta em liberar Hg para o ambiente, assim é importante ter o

conhecimento do quão disponível do elemento esta presente para as plantas no solo. Além do plantio direto do homem, existem também os peixes que se alimentam de organismos e plantas que crescem a partir destes solos, que logo podem se contaminar e repassar para outros animais da cadeia trófica.

1.1 Relações do mercúrio com a população do Amazonas

Os valores apresentados de Hg na presente pesquisa podem representar certo risco a vida humana ao entrar na cadeia trófica, pois segundo SOUZA, J. R. DE; BARBOSA, (2000) a população ribeirinha é extremamente dependente do consumo de peixe para seu sustento, e os peixes são concentradores naturais de mercúrio e sua quantidade nestes animais depende do alimento bem como idade e tamanho. Como consequência a contaminação humana por mercúrio depende não somente da quantidade de peixe consumida como também da espécie escolhida. Há os peixes com nível trófico baixo, que são os herbívoros, os de nível trófico intermediário, os omnívoros, e finalmente os de nível trófico elevado, carnívoros ou predadores. Na saúde o mercúrio provoca quebras, com possível interferência nos mecanismos de reparo do DNA. Este efeito pode resultar em quebras cromossômicas e em morte celular, o que justifica o quadro progressivo de deterioração mental nos indivíduos mais altamente contaminados.

Alguns trabalhos foram realizados no estado do Amazonas, medindo a concentração de mercúrio nos peixes e nas populações. O PALHETA; TAYLOR, (1995) em seu estudo fez uma análise em peixes, animais e pessoas próximos a área de mineração, o autor relata que nos animais foram encontrados valores duas vezes superiores aos valores para controle $0,1 \text{ mg/kg}^{-1}$ a $1,28 \text{ mg/kg}^{-1}$, e os valores nos trabalhadores das minas resultaram em valores elevados $4,3 \text{ mg/kg}^{-1}$, levando o autor a sugerir que medidas deveriam ser tomadas na época. Um segundo estudo pertencente a AKAGI, HIROKATSU *et al.*, (1995) realizado em cinco vilarejos de pescadores ao longo do rio Tapajós próximo a área de mineração, relata que valores anormais com a média de $11,6 \text{ mg/kg}^{-1}$. Outro estudo realizado por MALM, (1998) que analisa a concentração de mercúrio no ar produzido pela amalgamação mostra valores de $0,07 \text{ mg/kg}^{-1}$ para $0,0117 \text{ mg/kg}^{-1}$, ele cita que a redução nos valores pode ser pelo fato da redução da mineração que havia 1994. Um estudo realizado em Manaus em seis bairros com 201 crianças de 2 a 7 anos, por FARIAS *et al.*, (2012) apresentou valores com mediana de

0,91 a 1,71 mg/kg⁻¹. Com alguns bairros abaixo de 0,16 mg/kg⁻¹, apenas 2% das crianças do estudo apresentaram concentração elevada de 14 mg/kg⁻¹.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Sendo o mercúrio uma grande ameaça a saúde humana a UNEP, (2013a) produziu alguns estudos mundiais sobre o risco do elemento. No estudo 30% das emissões de mercúrio no ar são causas antropogênicas, 10% são causas naturais de fontes geológicas e o resto 60% são de “réemissões” de mercúrio liberado que se acumulou décadas e séculos em solos superficiais e oceanos. Sendo que a fonte original deste mercúrio reemitido não pode ser determinada com afirmação, o fato que emissões antropogênicas são maiores que as naturais desde o início da era industrial cerca de 200 anos atrás, implicando que a maioria do mercúrio reemitido é originalmente de origem antrópica. Modelos sugerem que, globalmente 70% do mercúrio depositado no oceano são reemitidos para a atmosfera através de agentes biológicos e fotoquímicos.

Em UNEP, (2015) relata que as atividades humanas de mineração e queima de carvão, aumentaram a mobilização do mercúrio para o ambiente, aumentando a quantidade na atmosfera, solos e águas. A maioria das emissões humanas e liberações ocorrem das indústrias através da queima de carvão, mineração, atividades industriais que processam minerais para produzir vários metais ou processar outras matérias primas para produção de cimento. Nessas atividades o mercúrio é emitido porque está presente como impureza em combustíveis e matérias primas.

No estudo UNEP, (2013b) cita que o mercúrio se torna um problema ambiental, pois pode causar sérios impactos no ecossistema, incluindo efeitos reprodutivos em aves e mamíferos predatórios. O mercúrio pode prejudicar seriamente a saúde humana e constitui uma ameaça ao desenvolvimento de fetos e crianças pequenas, alguns dos problemas que os jovens podem desenvolver são danos neurológicos resultantes em sintomas como retardo mental, convulsões, perda auditiva, atraso no desenvolvimento, distúrbios de linguagem e perda de memória.

Nos solos o mercúrio (Hg) pode ser originado de minerais de Hg, poluição atmosférica e ações antrópicas locais. Devido a emissões humanas ao decorrer dos anos o Hg atmosférico é uma fonte de poluição do solo em todo o mundo. Nos solos o Hg ocorre como varias formas,

geralmente fortemente ligados à matéria orgânica e sulfetos. O teor de Hg é geralmente mais alto em solos ricos em orgânicos do que em solos minerais. Em condições de redução em solos, pode formar-se Hg de metilo e subsequentemente transportar para lagos e rios e acumular-se em cadeias alimentares aquáticas (STEINNES, 1995).

A interação do Hg com a natureza leva ele a interagir com o homem e assim modificar a relação homem e natureza, assim tornando seu estudo um importante fator na interferência da paisagem. Sendo paisagem uma herança de processos fisiográficos, biológicos e patrimônio coletivo dos povos que historicamente as herdaram como território de atuação de suas comunidades. Paisagens tem o caráter de herança de processos de atuação antiga, remodelados e modificados por processo de atuação recente. Os povos herdaram paisagens e ecologias pelas quais são responsáveis, ou deveriam ser. (AZIZ AB SABER, 2003).

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O estado do Amazonas ocupa uma área de 1.559.159.148 km². O Estado limita-se ao norte com a Venezuela e o Estado de Roraima, a noroeste com a Colômbia, a leste com o Estado do Pará, ao sudeste com o Estado do Mato Grosso, no sul com o Estado de Rondônia e no sudoeste com o Peru e o Estado do Acre como observado na figura 2.

O Amazonas é dominado pelo clima equatorial, com as temperaturas se mantendo acima dos 18° C. A região Amazônica possui uma precipitação média de aproximadamente 2700 mm/ano, segundo MERENGO, (2009) as menores precipitações são em torno de 1700 mm e as maiores podem ultrapassar os 4000 mm, que são situadas nas regiões de fronteira entre Brasil, Colômbia e Venezuela. Nestas regiões não existe período de seca. Estes valores de precipitação elevada, próxima a Cordilheira dos Andes deve-se à ascensão orográfica da umidade transportada pelos ventos alísios.

Depósitos sedimentares quaternários recobrem rochas proterozoicas e fanerozoicas nas margens dos rios, onde é encontrada a Planície Amazônica. Nas planícies são encontrados os solos de várzea como os Gleissolos Háplicos e os Neossolos Flúvicos (CPRM, 2010; REIS *et al.*, 2006).

Os Neossolos são solos jovens que podem apresentar maior soma de bases e pH menos ácido. Estão relacionados a oscilação dos rios, fazendo com que ele seja constituído por

diferentes camadas de sedimentos e os Gleissolos são solos jovens e estão associados a ambientes anaeróbicos que potencializam o acúmulo de matéria orgânica e possuem um horizonte glei imediatamente abaixo do horizonte A (EMBRAPA, 2006).

Segundo MIGUEIS, (2011) a Planície Amazônica divide-se em três níveis, de acordo com a disposição do relevo, os terrenos de Várzea, que ficam temporariamente ou permanentemente inundados (em média de 8 a 10 meses) por estarem mais próximos ao nível do rio e representa uma parte da floresta bastante heterogênea, constituída de espécies que atingem até 15 metros de altura, os Tesos ou Terraços, que alagam no período das cheias (entre 4 a 6 meses), parte da floresta mais heterogênea com árvores de porte médio, e os Terrenos de Terra Firme, que estão livres das cheias por estarem em patamares mais elevados da planície, que corresponde a parte da floresta bastante heterogênea e de grande porte, com árvores com mais de 25 metros (SCUDELLER; SOUZA, 2009)

De acordo com o Censo de 2010 do IBGE o estado do Amazonas possui uma população de 3,4 milhões de habitantes, com baixo índice demográfico, 2,23 habKm², dos quais 71,4% da população se encontram nas áreas urbanas e 28,6% vivem na zona rural. De acordo com o (IBGE 2010) vivem cerca de 310 mil indígenas no Amazonas, sendo que a maioria destes vive na zona rural. A pesca é uma das principais atividades econômicas da população que reside no estado do Amazonas é o alimento básico para seu sustento. Os principais produtos cultivados no estado são laranja, a mandioca, cupuaçu, melancia, maracujá, abacaxi e a banana (CLÉMENT, 2008; IBGE, 2015).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletadas seis amostras de solo aluviais na camada superficial (0 – 20 cm), no período de 22/08/2013 a 10/10/2013 no período de seca, conforme é observado na figura 2. As amostras foram coletadas em áreas minimamente antropizadas e tiveram sua localização registrada com auxílio de GPS. Cada amostra é composta por 10 amostras simples, coletadas em um ponto central, nos pontos cardeais (Norte, Sul, Leste, Oeste), pontos colaterais (Noroeste, Sudoeste, Sudeste, Nordeste) e um ponto aleatório, tendo a distancia de 3 m do ponto central.

As amostras foram secas à sombra, tamisadas e peneiradas em peneira de 2 mm. Para determinação das propriedades físicas e químicas das amostras, foram seguidos os

procedimentos estabelecidos por (EMBRAPA, 2011). Para determinar Areia, Silte e Argila foram utilizadas o Método da peneira e pipeta. A Capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva do solo foi calculada utilizando: $(t) = K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + Al^{3+}$, e a CTC total é calculada utilizando: $(T) = K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + (H^+ + Al^{3+})$. O pH do solo foi medido em água em solução 1:2,5 (solo: água). A matéria orgânica do solo (MOS) foi determinada pelo método de oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico corrigindo o teor pelo fator de conversão 1.724 (EMBRAPA, 2011).

As amostras foram maceradas e passadas em peneira de 200 mesh para determinação do teor de Hg em Espectrofotômetro de Emissão Ótica com Plasma Induzido Acoplado, com auxílio de Gerador de Hidretos, após digestão ácida das amostras segundo o método EPA 3051A (USEPA, 2007). Amostras dopadas e o material de referência, Montana I Soil 2710a registraram resultados satisfatórios (desvio abaixo de 20 %). O limite de quantificação praticável calculado foi $0,36 \text{ mg kg}^{-1}$, inferior aos parâmetros de monitoramento de contaminação para solos brasileiros como citado na resolução 420 do (CONAMA, 2009).

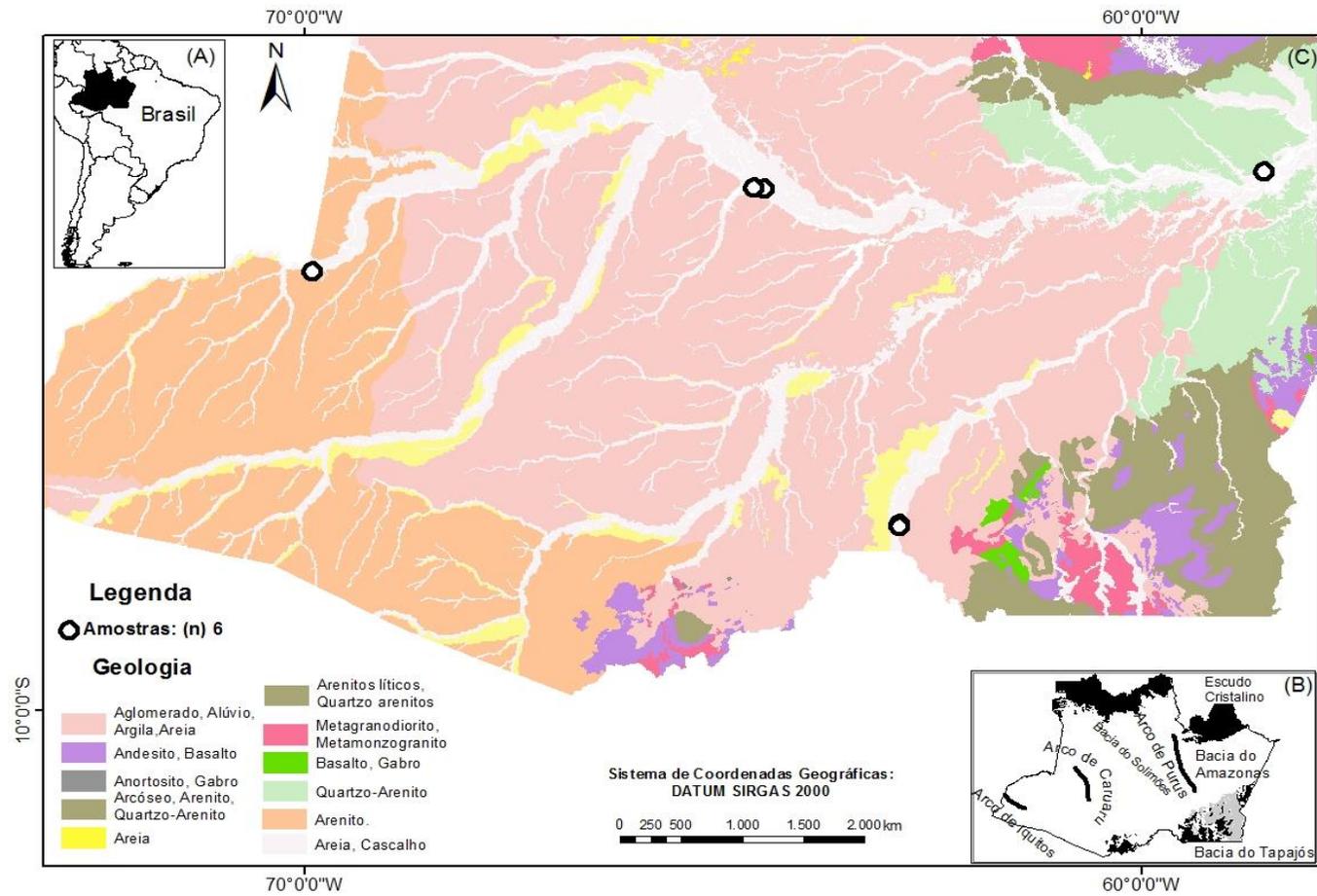


Figura 2. Localização das amostras no estado

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, os Neossolos Flúvicos e os Gleissolos Háplicos da área de várzea do Amazonas apresentam elevada CTC (T) e teor de MOS, pH ácido e textura siltosa. Os Neossolos apresentam um V% acima de 50% dando a eles a característica de solos eutróficos e os Gleissolos apresentam um V% abaixo de 50% dando a eles a característica de solos distróficos, conforme mostrado na Tabela 1. Oitenta e três por cento das amostras apresentou teores de Hg abaixo de $0,9 \text{ mg/kg}^{-1}$, indicando o background regional. Por sua vez, a amostra próxima à cidade de Manaus possui teor 2 vezes superior ao restante das amostras, indicando contaminação antrópica.

Existe uma relação no valor de Hg com o valor da CTC efetiva do solo quando é analisado em um gráfico de dispersão, assim quanto maior a CTC maior o valor de Hg. Quando a amostra de Manaus (GX_M) é retirada é observado o mesmo padrão de aumento de Hg com relação ao aumento de pH, da MO e da Argila, apesar destes padrões se mostrarem menos evidente se comparado a CTC do solo.

Excluindo a amostra próxima a Manaus, os teores de Hg são similares na área de estudo este motivo se deve ao fato de terem um mesmo material de origem, vindo em sua maioria dos Andes carregado pelo rio Amazonas, que foram distribuídos ao longo do tempo por vários quilômetros nas áreas de várzeas, o segundo maior contribuinte são os escudos cristalinos da Guianas ao norte e escudo do Brasil Central ao sul, porém os escudos contribuem apenas em pequenas quantidades de sedimentos das áreas de várzea (WITTMANN *et al.*, 2011).

Tabela 1. Estatística descritiva (mediana-coeficiente de variação %) das propriedades dos solos e teor de Hg

Amostras	Altitude (m)	pH	tcmolc/dm-3	Tcmolc/dm-3	MOS dag/kg	Argila dag/k	Silte dag/k	Areia dag/k	V%	Hg (mg kg-1)	Textura
GX _M	34	4,97	13,09	18,16	2,43	55	44	1	56,5	1,6905	Argiloso
RY _H	35	5,78	4,92	6,52	0,9	7	44	49	75,5	0,6174	Arenoso
GX _H	67	4,41	6,93	10,43	1,66	29	69	2	26,2	0,8757	Siltoso
RY _T	39	7,1	16,28	17,28	2,43	21	74	5	94,2	0,9387	Siltoso
GX _{TE}	58	5,15	5,48	12,23	4,94	37	61	2	28,9	0,7647	Siltoso
RY _{TE}	55	5,29	5,14	8,66	2,03	31	65	4	51,5	0,6645	Siltoso
GX (3)	58	4,97-8	6,93-48	12,23-30	2,43-57	37-33	61-22	2-35	28,9-45	0,8757-46	
RY (3)	39	5,78-15	5,14-74	8,66-53	2,03-44	21-61	65-25	5-133	75,5-29	0,6645-23	
Todas (6)	47	5,22-17	6,205-56	11,33-38	2,23-57	30-53	63-21	3-180	54-48	0,8201-43	
SF	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,105-188	
MG	N.D	5,3-14	N.D	7,9-53	3,3-112	34-56	N.D	N.D	87-96	0,1-529	
AE	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,42-23	
PE	N.D	5,5-16	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,06-77	
CO	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,5	
ES	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0,5	
Antigas áreas de mineração de países											
GB	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	3,4	
Ca	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	1,9	
RC	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	54	
Iu	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	4,2	
Fr	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	2,9	
USA	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	40	
Ru	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	5,6	

Legenda: GX= Gleissolos Háplicos. RY=Neossolos Flúvicos. M= Manaus. H= Humaitá. T= Tabatinga. TE= Tefé. SF= São Francisco (ISABEL; FIORAVANTI, 2007). MG= Minas Gerais (DE SOUZA, J. J. L. L. *et al.*, 2015). AE= Amazônia Equatorial (LOPEZ-BLANCO *et al.*, 2015). PE= Pernambuco (BIONDI, 2010). (CO) Conama (CONAMA, 2009). ES= Espírito Santo (NOGUEIRA, 2015). GB= Grã Bretanha. Ca= Canadá. RC= República Checa. Iu= Iugoslávia. Fr= França. USA= Estados Unidos. Ru= Rússia (KABATA-PENDIAS, 2011).

Segundo (KABATA-PENDIAS, 2011; STEINNES, 1995) a mais importante variável que é a fonte de Hg mais comum de todos os solos são os minerais que constituem as rochas “parentais” que são os materiais de origem do solo, e em caso de solos superficiais, a deposição atmosférica é também uma fonte significativa, que se torna importante devido às contribuições antrópicas das atividades atmosféricas de Hg.

Observando a tabela 1 é possível comparar as amostras do Amazonas com diferentes regiões do país, o Conama (CONAMA, 2009) delimita em sua resolução que valores acima do Valor de prevenção (VP) que é a concentração limite de determinada substância no solo, que no caso do Hg é de $0,5 \text{ mg/kg}^{-1}$, acima deste valor são necessários uma maior atenção no solo, as amostras do Amazonas estão a um valor 1,6 vezes superior ao indicado pelo Conama.

Analisando o valor de Hg da Amazônia Equatorial (AE) pertencente ao rio Yacuambi, que se situa na divisão entre Amazônia e os Andes, de acordo com. LOPEZ-BLANCO *et al.*, (2015) Os solos da várzea da (AE) se encontram 1,95 vezes inferiores ao encontrado nos solos de várzea do presente estudo, e um CV idêntico se comparados os dados da Amazônia Equatorial (AE) com os Gleissolos Háplicos (GX) dos solos de várzea. Outro rio que se encontra com valores menores com relação aos obtidos, é pertencente ao São Francisco (SE) que segundo ISABEL; FIORAVANTI, (2007) se encontra inferior em 7,8 vezes com relação ao dos rios do Amazonas.

As amostras de várzea do Amazonas apresentam valores 8,2 superiores comparados aos encontrados em Minas gerais (MG) DE SOUZA, J. J. L. L. *et al.*, (2015). A amostra (MG) possui um CV elevado mostrando como os solos do estado são heterogêneos, algumas amostras apresentam valores semelhantes ao do Amazonas, porém apenas em uma pequena porção do estado. As amostras do estado de (MG) foram retiradas de áreas naturais com uma menor atropização.

O teor de Hg em solos de Pernambuco (PE) foram até 13 vezes menores em relação aos dados obtidos no estado do Amazonas. Tal diferença é atribuída a diferenças de material parental dos solos, uma vez que o mercúrio apresenta maior concentração em depósitos sedimentares (KABATA-PENDIAS, 2011). Porém seria necessária uma comparação com amostras de diferentes locais, como um estudo em áreas cristalinas para comparar com depósitos sedimentares, para se chegar a uma conclusão.

O acúmulo de Hg está relacionada com os níveis orgânicos C e S nos solos e é concentrada em solos superficiais em várias vezes a concentração em subsolo, assim a floresta no estado do Amazonas contém uma grande proporção de carbono em solo superficial. Segundo KABATA-PENDIAS, (2011) mostra que os solos mundiais apresentam uma média na concentração de Hg $1,1 \text{ mg/kg}^{-1}$, sendo assim no Amazonas os valores estão 1,42 vezes abaixo da média mundial, isto quando se ignora o valor da amostra pertencente a Manaus. Quando se compara as amostras do Amazonas com as máximas nos valores de mercúrio (Hg) em antigas áreas de mineração de alguns países conforme observado na tabela 1 temos os seguintes resultados. A Grã Bretanha 4,14 vezes, Canadá 2,31 vezes, República Checa 65 vezes, Iugoslávia 5,12 vezes, França 3,53 vezes, Estados Unidos 48 vezes. Rússia 6,82 vezes. Assim temos a República Checa e os Estados Unidos se destacando com valores muito elevados com relação aos outros.

Um estudo realizado por HACON *et al.*, (2008) que organizou várias pesquisas feitas no estado do Amazonas sobre mercúrio como a de BÔAS, (1997) relata valores altos de Hg no ecossistema amazônico, os valores vão de 10 mg/kg^{-1} a 15 mg/kg^{-1} de áreas de mineração sendo de 12 vezes a 18 vezes superiores aos valores na várzea do Amazonas, inicialmente atribuído a mineração. Porém alguns autores sugerem que os solos amazônicos contêm uma alta concentração natural de mercúrio o que explica alguns estudos de peixes e pessoas terem seus teores elevados mínima e máximas de trabalhadores em minas $6,8 \text{ mg/kg}^{-1}$ a $31,3 \text{ mg/kg}^{-1}$ e $0,8 \text{ mg/kg}^{-1}$ a $9,4 \text{ mg/kg}^{-1}$ de antigos trabalhadores em minas de ouro (AKAGI, H; NAGANUMA, 2000). A outra hipótese é o transporte atmosférico que pode ser a causa de valores elevados ao longo da bacia Amazônica. Além disto, a deflorestação para o gado e agricultura ocorre em taxas elevadas desde início da década de 1970, aumentando a erosão do solo e provavelmente contribuindo direto (e indiretamente) para a dispersão do mercúrio no estado (HACON *et al.*, 2008).

Um estudo realizado no Amazonas, porém restrito a área de Manaus e região próxima, entre 1995 e 1998 de LODENIUS; MALM, (1998) mostra que os valores encontrados na época foram de $0,21$ a $0,43 \text{ mg/kg}^{-1}$ nas áreas mais elevadas pertencentes aos terraços, na área de transição para as áreas rebaixadas $0,13$ a $0,21 \text{ mg/kg}^{-1}$ e nos sedimentos dos rios encontraram $0,245$ a $0,439 \text{ mg/kg}^{-1}$. Comparado a média encontrada no presente estudo com os valores da época, a área mais elevada apresenta um valor 2,02 vezes inferior, a de transição 4,14 vezes inferior e nos sedimentos dos rios 1,98 inferior aos dados atuais.

Um estudo realizado por LINHARES *et al.*, (2009) com uma diferente metodologia, no estado do Amazonas mostra a mediana de Neossolos Flúvicos com valores de $0,0487 \text{ mg/kg}^{-1}$ e máximo de $0,147 \text{ mg/kg}^{-1}$, estes valores são respectivamente 13 e 4 vezes inferiores ao encontrados no presente estudo. Os Gleissolos apresentaram mediana de $0,0682 \text{ mg/kg}^{-1}$ e máximo de $0,0976 \text{ mg/kg}^{-1}$, sendo respectivamente 12 e 8 vezes inferiores ao presente estudo.

Devido ao pequeno número de amostras colidas no presente estudo, se torna difícil uma representatividade para todo o estado do Amazonas devido a sua grande extensão. Porém é um estudo inicial que pode servir de comparação e dados para futuras pesquisas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os teores de Hg encontrados nos solos de várzea do estado do Amazonas apresentam valores semelhantes entre si atribuídos ao material de origem dos sedimentos que formaram os solos, que se originam em grande maioria dos Andes e o restante dos escudos cristalinos ao norte e ao sul. Quando os teores de Hg do Amazonas são comparados com solos de outros estados brasileiros, estes apresentam valores superiores. Porém não significa que os solos do Amazonas estejam contaminados e se encontram abaixo da média mundial. Outros autores apontam que devido a corrida do ouro ocorrida no século XX, apesar do garimpo no Amazonas ter diminuído consideravelmente no presente século, os rejeitos da atividade representam ainda hoje um passivo ambiental.

A grande preocupação do Hg no ambiente é a incorporação a quase todas as espécies aquáticas via cadeia alimentar, incluindo o plâncton, peixes herbívoros e carnívoros. Devido ao seu longo tempo de residência em organismos ao longo da cadeia alimentar que vai resultar em uma maior concentração, quanto mais elevada for o nível na cadeia trófica, mais concentrado o Hg vai estar. Assim as maiores concentrações de

Hg estão em populações humanas que tem o pescado como sua principal dieta alimentar, como é o caso da população no estado do Amazonas.

O Conama delimita como valor de prevenção (VP) do Hg em $0,5 \text{ mg/kg}^{-1}$ para todo território nacional, porém o Conama também concede a liberdade para cada estado ter o seu próprio VRQs do solo para substâncias químicas naturalmente presentes, pois cada estado

possui suas especificidades. Assim a presente pesquisa pode contribuir para geração de um VRQ para o Hg no estado do Amazonas.

7. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKAGI, H. *et al.* Methylmercury pollution in the Amazon, Brazil. *Science of the Total Environment*, v. 175, n. 2, p. 85–95, 1995.

AKAGI, H.; NAGANUMA, A. Human exposure to mercury and the accumulation of methylmercury that is associated with gold mining in the Amazon Basin, Brazil. *Journal Of Health Science*, v. 46, n. 5, p. 323–328, 2000. Disponível em: <[http://jhs.pharm.or.jp/data/46\(5\)/46\(5\)p323.pdf](http://jhs.pharm.or.jp/data/46(5)/46(5)p323.pdf)>.

ALMEIDA, M. D. *et al.* Mercury degassing from forested and open field soils in Rondônia, Western Amazon, Brazil. *Chemosphere*, v. 77, n. 1, p. 60–66, 2009.

AZIZ AB'SÁBER. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. *Geomorfologia 1977*, v. 53, p. 23,

AZIZ AB SABER. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. 4ª Edição ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

BIONDI, C. M. Teores naturais de metais pesados nos solos de referência do estado de pernambuco. *Doctor*, p. 1–46, 2010.

BÔAS,R..V.*Mercury in the Tapajós Basin*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: CETEM/IMAAC/CYTED, 1997.

BRASIL. Perfil do Gerenciamento de Mercúrio no Brasil, incluindo seus Resíduos. *Ministério do Meio Ambiente*, p. 107, 2011.

BRASILEIRO, S. F. *Florestas do brasil - em resumo*. [S.l: s.n.], 2010.

CLÉMENT, J. O extrativismo na historia agrária do Estado do Amazonas Revisão bibliográfica. 2008.

CONAMA. Resolução CONAMA 420. v. 2013, p. 20, 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>.

CPRM. Geodiversidade do estado do Amazonas. p. 275, 2010.

D'AGOSTINI, S. *et al.* Ciclo Econômico Da Borracha–Seringueira Hevea Brasiliensis (Hbk) M. Arg. *O Biológico*, v. 70, n. 2, p. 205–206, 2003.

DE SOUZA, J. J. L. L. *et al.* Geochemistry and spatial variability of metal(loid) concentrations in soils of the state of Minas Gerais, Brazil. *Science of the Total Environment*, v.505, p. 338–349, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.098>>.

EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solos. p. 212, 2011.

EMBRAPA, E. B. D. P. A. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. [S.l: s.n.], 2006.

FARIAS, L. A *et al.* Mercury and methylmercury concentration assessment in children ' s hair from Manaus , Amazonas State, Brazil. *Acta Amazonica*, v. 42, n. 11, p. 279–286, 2012

FEARNSIDE, P. Desmatamento na Amazônia. *Simpósio Brasileiro de Pós-Graduação em ...*, 2004. Disponível em: <[http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Resumos e anais/Unpublished abstracts/Fearnside resumo-desmatamento.pdf](http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Resumos_e_anais/Unpublished_abstracts/Fearnside_resumo-desmatamento.pdf)>.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 3, p. 395–400, 2006.

FEDERAL, U. *et al.* GEOGRAFIA DO OURO NA AMAZÔNIA BRASILEIRA : uma análise a partir da porção meridional. 2015.

GUIMARÃES, J. R. D. *et al.* Mercury methylation along a lake-forest transect in the Tapajos

river floodplain, Brazilian Amazon: Seasonal and vertical variations. *Science of the Total Environment*, v. 261, n. 1–3, p. 91–98, 2000.

HACON, S. *et al.* An overview of mercury contamination research in the Amazon basin with an emphasis on Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 24, n. 7, p. 1479–1492, 2008.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola - LSPA. *IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*, 2015.

IBGE. *Mapa de Vegetação do Estado do Amazonas*. . [S.l: s.n.], , 2010

IBGE. Censo de 2010.

Disponível em: <<http://www.amazonas.am.gov.br/o-amazonas/dados/>>.

Acesso em : 10/09/2016.

INPE. *Taxas anuais do desmatamento*. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/prodes_1988_2015n.htm>. Acesso em: 23 nov. 2016.

ISABEL, M.; FIORAVANTI, A. Avaliação da contaminação por metais metaloides (Água, sedimento e peixe) no rio São Francisco em três Marias (MG-Brasil): projeto de pesquisa participativa com a comunidade local. p. 68, 2007.

KABATA-PENDIAS, A. *Trace elements in soils and plants*. [S.l: s.n.], 2011.

LINHARES, D. P. *et al.* Mercúrio em diferentes tipos de solos marginais do baixo rio madeira – Amazônia ocidental. *Geochemica Brasiliensis*, v. 23, n. 1, p. 117–130, 2009.

LODENIUS, M.; MALM, O. Mercury in the Amazon. *Reviews of environmental contamination and toxicology*, v. 157, p. 25–52, 1998.

LOPEZ-BLANCO, C. *et al.* Mercury Pollution in Soils from the Yacuambi River (Ecuadorian Amazon) as a Result of Gold Placer Mining. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 95, n. 3, p. 311–316, 2015.

MALM, O. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. *Environmental research*, v. 77, n. 2, p. 73–8, 1998. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935198938282>>.

MERENGO, J. A. *Tempo e clima do Brasil*. São Paulo: CAVALCANTI, I.F.A; FERREIRA, 2009.

MIGUEIS, R. *Geografia do Amazonas*. Manaus: Valer, 2011.

MORAIS, H. C. *Biomass Brasileiros Biomass Brasileiros*. p. 1–30, 2012.

NOGUEIRA, C. A. *Valores orientadores de qualidade de solos no Espírito Santo*. Vitória,ES: [s.n.], 2015.

PALHETA, D.; TAYLOR, A. Mercury in environmental and biological samples from a gold mining area in the Amazon region of Brazil. *The Science of the total environment*, v. 168, n. 1, p. 63–69, 1995.

QUINÁGLIA, G. A. Caracterização dos níveis basais de concentração de metais nos sedimentos do Sistema Estuarino da Baixada Santista. p. 239, 2006.

REIS, N. *et al.* Geologia e recursos minerais do Estado do Amazonas. *Manaus, CPRM*, p. 125, 2006. Disponível em: <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Geologia+e+Recursos+Minerais+do+Estado+do+Amazonas#0>>.

SCUDELLER, V.; SOUZA, A. Florística da mata de igapó na Amazônia Central. *Diversidade Biológica*, v. 2, n. 8, p. 97–108, 2009.

SOARES, T. DE J.; HIGUCHI, N. A convenção do clima e a legislação brasileira pertinente , com ênfase para a legislação ambiental no Amazonas. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 92, p. 573–580, 2006.

SOUZA, J. R. DE; BARBOSA, A. C. Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia.

Química Nova na Escola, v. 12, p. 3–7, 2000.

STEINNES, E. *Heavy Metals in Soils*. [S.l: s.n.], 1995.

UNEP. Global Mercury Assessment. *Unep*, p. 42, 2013a.

UNEP. Global Mercury Modelling: Update of Modelling Results in the Global Mercury Assessment 2013. *UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland*, 2015.

UNEP. *Mercury–Time to Act*. [S.l: s.n.], 2013b. v. 1. Disponível em: <<http://search.informit.com.au/fullText;dn=049862812700964;res=IELENG>>.

USEPA, E. Method 3051: Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils. *Test Methods for Evaluating Solid Waste*, n. February, p. 1–30, 2007. Disponível em: <<http://www.epa.gov/osw/hazard/testmethods/sw846/pdfs/3051a.pdf>>.

WASSERMAN, J.; HACON, S. O Ciclo do Mercúrio no Ambiente Amazônico. *Mundo e Vida*, v. 2, p. 46–53, 2001.

WITTMANN, H. *et al.* Sediment production and delivery in the Amazon River basin quantified by in situ-produced cosmogenic nuclides and recent river loads. *Bulletin of the Geological Society of America*, v. 123, n. 5, p. 934–950, 2011.