

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Rayane Oliveira da Silva

**ESTUDO DE CASO: DESTINAÇÃO FINAL DE EQUIPAMENTOS
ELÉTRICOS E ÓLEO MINERAL, CONTAMINADOS COM PCBs EM
UMA EMPRESA LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE
PINDAMONHANGABA/SP.**

Taubaté

2020

Rayane Oliveira da Silva

**ESTUDO DE CASO: DESTINAÇÃO FINAL DE EQUIPAMENTOS
ELÉTRICOS E ÓLEO MINERAL, CONTAMINADOS COM PCBs EM
UMA EMPRESA LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE
PINDAMONHANGABA/SP.**

Trabalho apresentado para obtenção
do Certificado de Especialização
pelo Curso Engenharia Ambiental e
Sanitária do Departamento de
Engenharia Civil da
Universidade de Taubaté,
Área de Concentração: Engenharia
Ambiental
Orientador: Prof. Me. Leonardo do
Nascimento Lopes

Taubaté - SP

2020

**Grupo Especial de Tratamento da Informação - GETI
Sistema Integrado de Bibliotecas -SIBi
Universidade de Taubaté - UNITAU**

S586e Silva, Rayane Oliveira da
Estudo de caso : destinação final de equipamentos elétricos e óleo mineral, contaminados com PCBS em uma empresa localizada no município de Pindamonhangaba/SP. / Rayane Oliveira da Silva. -- Taubaté : 2020.
50 f. : il.

Trabalho (graduação) - Universidade de Taubaté, Departamento de Gestão e Negócios / Eng. Civil e Ambiental, 2020.
Orientação: Prof. Me. Leonardo Nascimento Lopes, Departamento de Engenharia Civil.

1. Compostos orgânicos - Análise. 2. Eletrônica. 3. Aparelhos e materiais elétricos. I. Título.

CDD - 547.3

Rayane Oliveira da Silva

**ESTUDO DE CASO: DESTINAÇÃO FINAL DE EQUIPAMENTOS
ELÉTRICOS E ÓLEO MINERAL, CONTAMINADOS COM PCBs EM
UMA EMPRESA LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE
PINDAMONHANGABA/SP.**

Trabalho apresentado para obtenção
do Certificado de Especialização
pelo Curso Engenharia Ambiental e
Sanitária do Departamento de
Engenharia Civil da
Universidade de Taubaté,
Área de Concentração: Engenharia
Ambiental
Orientador: Prof. Me. Leonardo do
Nascimento Lopes

Data: 11/11/2020
Resultado: Aprovado

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ademir Fernando Morelli

Universidade de Taubaté

Prof. Hemerson Máximo de Oliveira

Universidade de Taubaté

Minha família, pelo apoio e incentivo ao longo desses 05 anos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço eterna e profundamente aos meus pais, Nubia e Gualberto, por sempre acreditarem em mim e não medirem esforços para me ver feliz, por me incentivarem a correr atrás dos meus objetivos e nunca desistir dos meus sonhos, sou extremamente grata por todo apoio que me deram ao longo da vida. Espero um dia ser pelo menos metade do que eles são e seguir de exemplo para meus filhos, como eles foram e continuam sendo para mim.

Agradeço aos meus irmãos, que apesar das nossas divergências, sei que torcem muito por mim. Tenho absoluta certeza que estaremos sempre um ao lado do outro.

Agradeço a todos aos meus familiares, em especial minha tia Edinilza e minha prima Thifane, por sempre me incentivarem a correr atrás dos meus sonhos e nunca desistir, por mais difícil que fosse a trajetória, agradeço em especial o meu tio Wadson, que sempre foi a minha inspiração nos estudos.

Agradeço ao meu noivo Luan, por todos os momentos compartilhados ao longo desses anos e por toda paciência durante todo o curso, principalmente em épocas de provas, e também pela paciência durante a execução deste trabalho.

Agradeço a empresa Tecori, meu chefe Daniel Closs e ao engenheiro Carlos Catharino, que foram essenciais na elaboração do meu TG, pois me ensinaram muito e me proporcionaram o conhecimento necessário para a elaboração do mesmo

Agradeço as minhas eternas amigas da faculdade, Pâmela Trindade, Karen Kessler, Maria Victória Cunha E Liara Beatriz pela sintonia e amizade ao longo desses 5 anos de curso, agradeço por cada ajuda, cada risada, cada surto e cada choro que tivemos juntas. Obrigada pela oportunidade de ter convivido com vocês e de ter vocês para o resto da minha vida. Espero vocês e o resto das meninas que não foram citadas aqui no meu casamento Rss'

Agradeço a minha turma Engenharia Ambiental e Sanitária 2020, por todo companheirismo ao longo dessa jornada. Por sempre estarem dispostas a ajudar um a outra. As experiências compartilhadas foram a melhor parte da minha formação acadêmica. Nós provamos que a amizade verdadeira é uma grande conquista.

Agradeço ao meu orientador Prof. Me. Leonardo do Nascimento Lopes, por ter acreditado na minha capacidade e na abordagem do tema,

Agradeço aos membros da banca Prof. Dr. Ademir Fernando Morelli e Prof. Hemerson Máximo de Oliveira, por terem se disposto a conhecer e avaliar o meu trabalho.

Por fim, agradeço ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Taubaté e a todos os professores dos quais tive a honra de ter sido aluna, que contribuíram com a construção da profissional que irei me tornar.

Muito obrigada.

“Sonhos determinam o que você quer. Ação determina o que você conquista.”

Aldo Novak

RESUMO

Bifenilas Policloradas são compostos orgânicos sintéticos não biodegradáveis, quando misturado a hidrocarbonetos derivados de petróleo resulta em Ascarel. O ascarel é encontrado basicamente em transformadores de energia e capacitores elétricos, devido sua alta capacidade dielétrica. É considerado um composto com alta toxicidade e um alto poder de contaminação no meio ambiente, possui características de ser um produto cancerígeno. A Bifenila Policlorada, em geral conhecidas por PCB, é classificada neste grupo, conhecida comercialmente como Ascarel ou Askarel. O prazo para sua eliminação é até 2025. Normas e leis foram publicadas no intuito de instruir a melhor tratativa sobre as Bifenilas Policloradas. No estado de São Paulo, sua eliminação deve ocorrer até o final de 2020. O presente estudo, teve como objetivo evidenciar a importância do assunto devido aos parâmetros ambientais e apresentar informações e métodos de tratamento e destinação final para transformadores e óleo mineral, contaminados por PCBs. No estudo foram apresentados os métodos de descontaminação e reclassificação e também foram apresentadas as legislações referentes aos PCBs e sua comercialização. Para a realização do estudo, foi realizada uma entrevista objetiva com o Gerente Geral da empresa Tecori e também foi acompanhado juntamente com o Engenheiro de Produção o processo de descontaminação e destinação final de um transformador com peso de 4.880 kg, 1.890 litros de óleo, contaminado com teor de PCBs 67,8 ppm, onde todos os materiais sólidos impermeáveis e os metais constituintes dos equipamentos elétricos, são descontaminados e reciclados e os materiais permeáveis são mandados para incineração. De acordo com o laudo laboratorial realizado no fim do processo, os resultados obtidos foram satisfatórios.

Palavras-chave: Bifenilas Policloradas, Destinação Final, PCBs, Ascarel.

ABSTRACT

Polychlorinated biphenyls are non-biodegradable synthetic organic compounds, when mixed with petroleum-derived hydrocarbons results in Ascarel. Ascarel is found basically in energy transformers and electric capacitors, due to its high dielectric capacity. It is considered a compound with high toxicity and a high power of contamination in the environment, it has characteristics of being a carcinogenic product. Polychlorinated Biphenyl, generally known as PCB, is classified in this group, known commercially as Ascarel or Askarel. The deadline for its elimination is up to 2025. Rules and laws have been published in order to instruct the best deal on Polychlorinated Biphenyls. In the state of São Paulo, its elimination should occur by the end of 2020. The present study aimed to highlight the importance of the subject due to environmental parameters and to present information and methods of treatment and final destination for transformers and mineral oil, contaminated by PCBs. In the study, the methods of decontamination and reclassification were presented and the legislation regarding PCBs and their commercialization were also presented. In order to carry out the study, an objective interview was conducted with the General Manager of the company Tecori and the decontamination and final destination of a transformer with a weight of 4,880 kg, 1,890 liters of oil, was also monitored together with the Production Engineer. with a PCB content of 67.8 ppm, where all impermeable solid materials and the metals that make up electrical equipment are decontaminated and recycled and permeable materials are sent to incineration. According to the laboratory report carried out at the end of the process, the results obtained were satisfactory.

Keywords: Polychlorinated Biphenyls, Final Destination, PCBs, Ascarel

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	XI
2.	OBJETIVOS	XIII
2.1.	Objetivos Gerais	XIII
2.2.	Objetivos Específicos.....	XIII
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	XIV
3.1.	Bifenilas Policloradas	XIV
3.1.1.	Definição	XIV
3.1.2.	Propriedades físico-químicas	XV
3.1.3.	Aspectos Biológicos e Ambientais.....	XV
3.1.4.	Transformadores e Capacitores Elétricos	XV
3.1.5.	Histórico	XVII
3.1.6.	Acidentes com PCBs	XVIII
3.1.6.1.	Japão e Yucheng.....	XVIII
3.1.6.2.	Outros acidentes e fontes de riscos	XIX
3.1.6.3.	Contaminação do Rio Hudson.....	XX
3.1.7.	Bifenilas Policloradas no Brasil	XX
3.1.8.	Legislação Brasileira	XXI
3.1.9.	Convenção de Estocolmo	XXV
3.1.10.	Tipos de Resíduos.....	XXVI
3.1.10.1.	Resíduos em estado líquido	XXVI
3.1.10.2.	Resíduos em estado sólido.....	XXVI
3.1.11.	Métodos de Degradação dos PCBs	XXVI
3.1.11.1.	Degradação Intencional.....	XXVII
3.1.11.2.	Degradação por Processos Naturais	XXVII
3.1.11.3.	Degradação Acidental e Ocupacional	XXVIII
3.1.12.	Métodos utilizados na degradação e descontaminação de PCBs.....	XXVIII
3.1.12.1.	Descontaminação.....	XXIX
3.1.12.2.	Incineração	XXIX
3.1.12.3.	Reclassificação	XXIX
4.	MATERIAL E MÉTODOS	XXXI
4.1.	Localização e História da Empresa	XXXI
4.2.	Processos realizados na Tecori	XXXII

4.2.1.	Destinação final de transformadores, capacitores e outros resíduos contaminados com PCBs.....	XXXII
4.2.2.	Reclassificação.....	XXXIV
4.2.3.	Descontaminação de óleos dielétricos contaminados com PCBs.....	XXXVI
4.3.	Entrevista com Gerente Geral da Empresa Tecori	XXXVIII
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	XLI
5.1.	Processo de descontaminação e destinação final dos resíduos líquidos	XLI
5.2.	Processo de descontaminação e destinação final dos resíduos sólidos.....	XLIII
6.	CONCLUSÕES	XLVI
	BIBLIOGRAFIA	XLVIII

1. INTRODUÇÃO

No começo da década de 70, os danos ambientais que as indústrias vinham causando no ambiente passou a ser uma preocupação mundial. Diante de toda essa preocupação em 1972 foi realizada a Conferência das Nações Unidas, na cidade de Estocolmo, na Suécia, com o intuito de minimizar os danos causados pelas indústrias.

Em 2001, foi assinado a Convenção de Estocolmo, um acordo internacional sobre os Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), visando a conscientização entre os países aderidos ao acordo, como: a proteção da saúde humana e do meio ambiente dos efeitos nocivos causados pelos POPs (ONU, 2001). Para o acordo ser válido, precisava de 50 países aderidos, porém só em 2004 foi alcançado os 50 países para que o acordo entrasse em vigor.

A Convenção de Estocolmo, entrou em vigor no Brasil em maio de 2004, e promulgou o texto da Convenção em 2005 (BRASIL, 2005). O Brasil, como aderido a esta convenção, compromete-se a com a completa eliminação e destruição de PCBs. E também com o atendimento da Resolução CONAMA 420/2009, a qual estabelece diretrizes para o gerenciamento de áreas contaminadas por substâncias químicas em decorrência de atividades que modificam as características naturais do meio ambiente (MMA, 2005).

Em 2004, doze compostos orgânicos foram listados como POPs, pela convenção de Estocolmo, inserida no Programa Ambiental das Nações Unidas, dentre esses compostos, se encontram os PCBs. Devido suas características físicas e químicas as Bifenilas Policloradas (PCBs), atuam como um ótimo composto dielétrico, o que permite que ele desempenhe funções de isolamento elétrico e de eliminação de perdas térmicas. Essas mesmas propriedades fazem com que os PCBs estejam entre POPs mais perigosos, apresentando as seguintes características: alta toxicidade, estabilidade térmica, lipossolubilidade, bioacumulação em tecidos vegetais e animais, resistência à degradação química biológica e fotolítica (ATSDR, 2000). Não existem registros de fabricação de PCBs no Brasil, sendo importado principalmente dos Estados Unidos e Alemanha.

Os PCBs são compostos orgânicos sintéticos, não são biodegradáveis o que faz com que permaneçam por muito tempo no meio ambiente, são bioacumulativos e cancerígenos. Quando expostos a temperaturas maiores que 400°, se decompõe

formando compostos do tipo dioxina e furano, gases altamente tóxicos e com alto teor de cloro, prejudicial ao meio ambiente e aos seres humanos.

O presente trabalho irá abordar as tecnologias adequadas para a destinação final de equipamentos elétricos e óleo mineral, ambos contaminados com PCBs. Dentre as tecnologias adequadas para destinação de equipamentos contaminados com PCBs temos a destinação final, que deve seguir as recomendações da NBR 8371 onde indica os processos de destruição e reciclagem como alternativas tecnológicas, e a reclassificação, que se trata de um processo que a princípio permite a caracterização de um transformador originalmente a PCB como sendo um a não PCB.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho é estudar a remoção e destinação final de bifenilas policloradas (PCB) presentes em equipamentos elétricos e óleo mineral, através de metodologias adequadas a cada tipo de resíduo e teor de contaminação, de acordo com as normas exigidas.

2.2. Objetivos Específicos

- Apresentar informações essenciais sobre PCBs;
- Demonstrar técnicas para destinação final do resíduo;
- Apresentar a eficácia do tratamento para o resíduo de PCBs;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

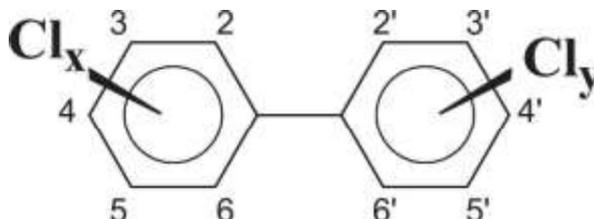
3.1. Bifenilas Policloradas

3.1.1. Definição

Bifenilas policloradas, também conhecidas por PCBs, representa uma categoria de produtos químicos com diversas aplicações. Essa classe de compostos químicos, pode conter de um até dez átomos de cloro ligados a molécula do bifenil. A partir dessa molécula formada por dois anéis aromáticos ligados entre si por uma única ligação simples do tipo carbono-carbono, é possível formar um grande número de compostos clorados.

Na figura 1, podemos observar a estrutura química das Bifenilas Policloradas.

Figura 1: Estrutura molecular das Bifenilas Policloradas (PCBs), com átomos de cloro podendo variar de 1 a 10.



Fonte: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422015000400471. (2015)

No Brasil, as misturas comerciais de PCBs são conhecidas como Ascarel, na Alemanha como Clophen, na Itália como Fenclor, no Japão como Kanechlor, na França com Phenoclor, e no Estados Unidos como Ascarel ou Aroclor. Essas misturas são compostas de 25% à 30% de clorobenzenos e de 70% à 75% de PCB.

Os óleos a base de PCBs resistem aos ácidos e álcalis e tem boa estabilidade térmica. Por este motivo foram bastante utilizados, principalmente como fluidos dielétricos em transformadores e capacitores. As misturas de PCBs num geral, são insolúveis em água e com aumento da cloração em sua composição, a mistura fica ainda mais insolúvel em água, porém essas misturas são solúveis em solventes orgânicos apolares e lipídios biológicos.

3.1.2. Propriedades físico-químicas

As Bifenilas Policloradas são substâncias de peso molecular elevado e, portanto, alta densidade e viscosidade, motivo pelo qual é misturado o triclorobenzenos com a finalidade de obter a viscosidade adequada ao uso em equipamentos elétricos.

A densidade das formulações Ascarel mais comuns encontra-se na faixa de 1,3 à 1,5 e a viscosidade a 25°C, na ordem de 10 a 20 cSt. Do ponto de vista químico são extremamente estáveis, não reagindo em condições normais com ácidos, bases, agentes oxidantes e redutores. Sua reação característica é com o Sódio metálico dando Bifenil e Clorêto de Sódio.

Esta reação, no entanto, é extremamente exotérmica e de difícil aplicação prática.



A temperaturas da ordem de 400°C a 1000°C em presença de oxigênio, as Bifenilas Policloradas oxidam-se de forma parcial, gerando compostos da classe das Dibenzodioxinas-policloradas (PCDDs) e Dibenzo-furanos-policlorados (PCDFs), que apresentam elevada toxidez. Portanto, deve-se sempre avaliar os riscos de envolvimento dos PCBs em processos de temperatura elevada como incêndios e outros.

3.1.3. Aspectos Biológicos e Ambientais

Do ponto de vista biológico, os PCBs, apresentam como principais características, a não biodegradabilidade, a bacteriostaticidade, e a bioacumulação em tecidos animais e vegetais.

Caracterizam-se, portanto, como substâncias perigosas do ponto de vista da exposição a longo prazo e de forma contínua.

Do ponto de vista ambiental, devido às suas características de não biodegradabilidade, bacteriostaticidade e bioacumulação, as PCBs são classificadas internacionalmente como “Poluentes Orgânicos Persistentes”

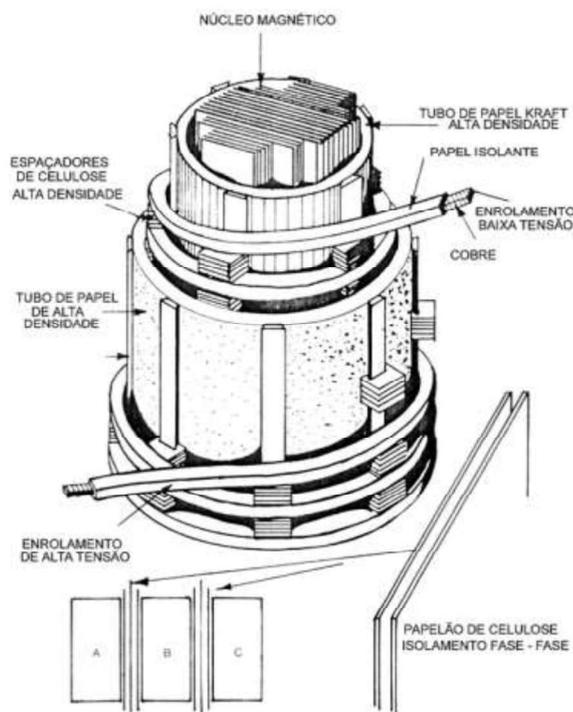
3.1.4. Transformadores e Capacitores Elétricos

Transformadores de potência são equipamentos elétricos estáticos que transformam tensão e corrente alternadas entre dois ou mais enrolamentos, sem mudança de frequência, por meio de indução eletromagnética.

Os transformadores de transmissão tem a função de, nas subestações, reduzir a tensão da eletricidade que chega das linhas de transmissão, para que ela possa ser repassada à rede de distribuição.

Os transformadores são constituídos, basicamente, por um líquido isolante (óleo isolante) e uma isolação sólida (papel isolante) (NOGUEIRA & ALVES, 2009), conforme figura02. A principal função do papel isolante é recobrir e isolar os núcleos magnéticos (condutores de cobre) de um transformador, evitando curtos-circuitos. O óleo isolante, por sua vez, envolve o núcleo do transformador, criando um sistema de isolamento termoelétrico, essencial para a proteção dos componentes do equipamento (NOGUEIRA & ALVES, 2009). Uma vez que o óleo isolante pode ser substituído/regenerado, o papel isolante torna-se o principal indicador da vida útil de um transformador.

Figura 2: Núcleo de uma transformador.



Fonte: MEYERS, KELLY & PARRISH (1982)

3.1.5. Histórico

Durante a década de 20, a utilização de equipamentos elétricos difundiu-se de forma generalizada no mundo, notadamente nos EUA, com o uso intensivo de transformadores elétricos em subestações prediais. Estes equipamentos eram até então isolados exclusivamente por óleos de origem mineral, obtidos pela destilação do petróleo e, portanto, de natureza combustível. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Estudo sobre as Bifenilas Policloradas)

Neste período, ocorreram vários casos de incêndio provocados por falha, geralmente arco elétrico, nos transformadores que provocavam a combustão do líquido isolante e a conseqüente propagação e alastramento do fogo.

O PCB, foi desenvolvido no final da década de 30 nos EUA logo após a regulamentação pública do país exigir que os transformadores em subestações prediais ou naquelas onde houvesse o risco de incêndio em áreas próximas, fossem fabricados com líquido isolante não inflamável e não propagador de chama. As formulações baseadas na mistura de PCBs apresentaram boas características isolantes, grande durabilidade e grande eficácia quanto à não propagação de chama.

Porém, em 1966, com a descoberta da presença de PCBs em amostras ambientais, foram feitos estudos para avaliar a toxicidade destes compostos. A preocupação em relação aos efeitos de PCBs na saúde veio à público em 1968, quando ocorreu o superaquecimento de um dos trocadores de calor usados na refrigeração de óleo de farelo de arroz para fins alimentícios na cidade de Yusho, capital da ilha de Kyusho, no Japão. O líquido refrigerante deste trocador de calor era à base de PCBs e foi acidentalmente misturado ao óleo comestível que foi embalado e comercializado entre a população local. A população passou a apresentar um conjunto de sintomas patológicos, denominados então de "Mal de Yusho", que incluíam cloroacne, hiperqueratose, bronquite, edema e entorpecimento dos membros, entre outros. Estas ocorrências foram atribuídas à ingestão das PCBs misturadas ao óleo comestível.

No ano de 1971, a "Monsanto", maior produtora mundial de especialidades químicas à base de PCBs, restringiu voluntariamente as utilizações dos seus produtos, pressionada pela repercussão dos acidentes junto à opinião pública. Em 1978 começaram a surgir as primeiras leis americanas restringindo seu uso somente

para sistemas fechados como trocadores de calor. Em 1983 foi publicada a lei federal proibindo o uso de PCBs em todo o território americano a partir de 1988.

As Bifenilas Policloradas, estão entre os poluentes orgânicos persistentes (POP) mais perigosos, pois apresenta características como: alta toxicidade, estabilidade térmica, lipossolubilidade, bioacumulação em tecidos vegetais e animais, resistência à degradação química biológica e fotolítica. (ATSDR, 2000)

Em 1975 a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), conduz ao congresso norte americano o projeto da Lei de Controle de Substâncias Tóxicas (TSCA) que abrange os PCBs. O projeto de lei é aprovado em 1976, mas o capítulo relativo às PCBs é alvo de uma série de ações judiciais que contestam os prazos para eliminação de equipamentos em operação e o caráter tóxico do produto.

Em 1979 a legislação é sancionada pelo executivo e recebe alterações resultantes das ações judiciais decorrentes da década de 80. Estas alterações relacionam-se à classificação do produto, que deixa de ser considerado como tóxico, e aos prazos para eliminação dos equipamentos elétricos em operação, que deixa de ser fixado em lei e passa a ser dependente das condições de funcionamento dos equipamentos. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, Estudo sobre as Bifenilas Policloradas)

Em 2001 foi assinado um acordo internacional, conhecido como “Convenção de Estocolmo”, o objetivo do acordo era construir um senso comum entre os países que aderiram ao acordo, como: proteção da saúde humana e do meio ambiente dos efeitos nocivos causados pelos POP (ONU, 2001). Além do Brasil, outros 163 países fazem parte deste acordo.

A Convenção de Estocolmo, tem como objetivo retirar os PCBs de uso até 2025, e até 2028, eliminá-los completamente.

3.1.6. Acidentes com PCBs

3.1.6.1. Japão e Yucheng

No Japão, no ano de 1968, mais de 1.600 pessoas se envolveram em um grande acidente ambiental, devido ao consumo acidental de óleo de arroz contaminado com PCBs, policlorodibenzofuranos (PCDF) e terfenilas policloradas (PCT) oriundo de um trocador de calor. Devido ao nome do óleo de arroz este episódio

foi conhecido como Yusho. Outro acidente similar aconteceu em Yu-cheng, Taiwan, com contaminação de fluídos industriais KC-400 e KC-500 no óleo de arroz em 1979 que apresentou a quantidade de 196mg/g para PCBs total. (PENTEADO; VAZ, 2001)

Os sintomas apresentados pelas vítimas foram: erupção na pele, dor de cabeça, dor nos olhos, inibição do crescimento da dentição, dores com inchaço, anemia, fadiga, problemas sanguíneos, redução da condução nervosa, despigmentação, entre outros. A comparação das análises do sangue e tecidos das vítimas destes acidentes com as de trabalhadores expostos a PCBs e com as da população controle apresentaram níveis de concentração de PCBs similares.

Foram realizados estudos com crianças nascidas de mães que consumiram óleo contaminado em 1979 em Yucheng, crianças de 8 a 16 anos, mostraram efeitos como queda na função do sistema imunológico, o que ocasionou o aumento das doenças infecciosas. Estas crianças apresentaram alto índice de bronquite e gripe nos seis primeiros meses em crianças acima de 6 anos foi constatada infecções no ouvido e trato respiratório. (PENTEADO; VAZ, 2001)

Em ambos os acidentes, no Japão e Yucheng, notou-se o aumento na ocorrência de câncer no fígado devido ao aquecimento dos PCBs no óleo de arroz causando a formação de furanos. (PENTEADO; VAZ, 2001)

3.1.6.2. Outros acidentes e fontes de riscos

A contaminação do ambiente por PCBs ou suas formulações também podem ocorrer durante incêndios, onde devido à combustão incompleta podem ser formados alguns compostos com elevado grau de toxicidade. Este risco é muito grande principalmente em construções antigas. Por exemplo, em 1981 um princípio de incêndio envolvendo um transformador contendo Aroclor 1254 no escritório de Binghamton no estado americano de Nova York causou grande contaminação de trabalhadores, devido ao produto da combustão ter invadido o sistema de ventilação espalhando-se por toda a área. Essa combustão incompleta também pode ser resultado do processo de separação de metais, em transformadores e capacitores que contenham PCBs, realizados em desmanches ou por trabalhadores durante a reciclagem de metais.

3.1.6.3. Contaminação do Rio Hudson

Em 1947 a empresa G.E. (General Electric Company) inicia suas atividades na produção de capacitores elétricos com duas plantas situadas ao norte do rio Hudson. Em sua linha de produção era empregado principalmente Aroclor 1242 e 1016 como fluido dielétrico na fabricação dos capacitores no período 1966 a 1976, onde o consumo de Aroclor pela G.E. representou 15% das vendas domésticas da Monsanto nos Estados Unidos. A emissão de efluentes contaminados com PCBs pela G.E. teve um fluxo cerca de 14Kg/dia por mais de 30 anos até o encerramento de suas atividades naquele local. Somente em 1969 foram detectados PCBs em peixes do rio Hudson e a partir de 1975 o fato foi encarado como um “sério problema ambiental”⁴². Entretanto já era tarde demais e o rio estava comprometido, apresentando concentrações de PCBs muito acima das permitidas pela legislação na época. Como consequência todo o consumo e comercialização de peixes do rio foram proibidos. A maior parte dos PCBs estava aderida no sedimento fino da barragem de Fort Edwards próximo as duas fábricas da G.E. Devido a problemas estruturais estas barragens foram removidas em 1973, proporcionando o transporte do sedimento contaminado para o baixo Hudson.

No início da década de 80, a G.E. foi obrigada a investir na recuperação do rio Hudson. Desde então a concentração de PCBs tem sido monitorada. Na água a concentração de PCBs dissolvidos era da ordem de 0,1 a 0,2µg/L em 1970, sendo que atualmente foi reduzida para 0,05 a 0,1µg/L. No mesmo período a concentração de PCBs no sedimento era da ordem 1.000µg/g, ocorrendo um decréscimo para a faixa de 0,08 a 1,41µg/g expresso em PCBs totais. Destes há maior concentração dos congêneres com elevada quantidade de cloro.

3.1.7. Bifenilas Policloradas no Brasil

No Brasil os dados estatísticos apresentados por órgãos governamentais responsáveis pela entrada de PCBs no país são conflitantes quando comparados com dados fornecidos pela iniciativa privada. Os Estados Unidos da América foi o maior fornecedor de PCBs para todo o Brasil, onde o setor elétrico-eletrônico, entre outros, foi o principal consumidor.

De acordo com um levantamento feito pela Carteira de Comércio Exterior (CACEX), no Brasil, entre os anos de 1945 e 1981 haviam sido importados 21.000 toneladas de fluidos isolantes à base de PCBs para transformadores e 5.000 toneladas de fluidos isolantes à base de PCBs para capacitores.

Em 1996 na cidade de Irajá no Estado do Rio de Janeiro, uma subestação do metrô foi invadida e depredada por moradores do local, o que ocasionou o vazamento de 400 litros de Ascarel originados de dois transformadores. Neste acidente foram intoxicados cerca de nove moradores, e uma morte suspeita de criança que apresentou manchas avermelhadas por todo o corpo dois dias depois do vazamento. A imprensa também relata, em 1987, o vazamento de 10 mil litros de Ascarel, na subestação de Furnas Centrais Elétricas S.A que atingiu o solo e contaminou funcionários. (PENTEADO; VAZ, 2001)

Apesar de toda a periculosidade própria que os PCBs apresentam, somente na década de 80 é que foram iniciadas as primeiras avaliações sobre o impacto do uso de PCBs. Relacionada a esta falta de informação, em nosso país encontra-se o risco de existirem parques industriais instalados próximos a regiões ricas em recursos naturais.

3.1.8. Legislação Brasileira

Quando se trata de Meio Ambiente e Saúde Pública, relacionados aos produtos perigosos, o Brasil tem se mostrado cada vez mais preocupado com a situação. Leis e normas começam a ser criadas com o intuito de conscientizar e instruir as pessoas de como manusear produtos perigosos, como por exemplo o PCB.

- Portaria Interministerial nº 19, de 29 de janeiro de 1981

Esta portaria proíbe o uso e a comercialização, em todo o território nacional, de qualquer produto contendo PCBs. A portaria foi readequada abrindo exceções para equipamentos que já utilizavam o produto, e também para transformadores novos que haviam sido encomendados até seis meses antes da publicação da portaria. O prazo para adequar-se à lei era de 2 anos após sua publicação. Porém em 1983, ela permitiu que equipamentos existentes permanecessem em uso até o fim de sua vida útil, não sendo permitida a troca do PCB, somente por outro tipo de óleo dielétrico. (BRASIL. Portaria Interministerial nº: 19/81)

- Instrução Normativa SEMA/STC/CRS/ Nº 001 de 10/06/83

Trata-se de um documento com força legal, com objetivo de disciplinar as condições a serem observadas no manuseio, armazenamento e transporte de (PCBs) e/ou resíduos contaminados com PCBs. O Secretário Especial do Meio Ambiente, no uso das atribuições no Decreto nº 73.030, de 30 de outubro de 1973, resolve disciplinar as condições a serem observadas no manuseio, armazenamento e transporte e tem como objetivo que a execução das atividades deverá ser seguida de acordo com o disposto na presente Instrução Normativa e demais normas e documentos complementares. (BRASIL. Instrução Normativa nº1, 1983).

- Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998

Esta é a Lei dos Crimes Ambientais, onde são definidas os crimes ambientais e suas respectivas penalidades.

O conceito de que a responsabilidade pelos resíduos é do gerador, ou seja do proprietário original, com relação a qualquer dano ao meio ambiente e ou a saúde pública, e que a mesma não é transferível, e somente se encerra por ocasião da emissão do Certificado de Destinação final do resíduo, desde que emitido por empresa devidamente licenciada pelos respectivos Órgãos Ambientais (no caso do estado de SP, o órgão responsável por este licenciamento é a CETESB), deve estar sempre presente na mente dos responsáveis pelo gerenciamento dos resíduos.

A lei define a questão da responsabilidade, co-responsabilidade, não somente da pessoa jurídica, mas criminalmente a pessoa física.

“Art. 3º As pessoas jurídicas serão responsabilizadas administrativa, civil e penalmente conforme o disposto nesta Lei, nos casos em que a infração seja cometida por decisão de seu representante legal ou contratual, ou de seu órgão colegiado, no interesse ou benefício da sua entidade.

Parágrafo único. A responsabilidade das pessoas jurídicas não exclui a das pessoas físicas, autoras, co-autoras ou partícipes do mesmo fato.” (BRASIL, 1998, Artigo 3º)

- Resolução Conama nº 313, de 29 de outubro de 2002

Esta resolução dispõe sobre a obrigatoriedade do Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, para controle de estoques e/ou destino final de resíduos industriais, agrotóxicos e PCBs. Tendo em vista que esse Inventário é de extrema

importância, pois será usado como parte integrante do processo de licenciamento ambiental.

Art. 3º As concessionárias de energia elétrica e empresas que possuam materiais e equipamentos contendo Bifenilas Policloradas - PCBs deverão apresentar ao órgão estadual de meio ambiente o inventário desses estoques, na forma e prazo a serem definidos pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. (BRASIL, 2002, Artigo 3º)

- ABNT NBR 8371:2005 - Ascarel para transformadores e capacitores
Características e Riscos

A NBR 8371, instrui as formas de manuseio, acondicionamento, armazenamento, transporte, cuidados em caso de acidentes e a destinação final dos resíduos além de classifica-los.

A classificação dos resíduos PCBs é apresentada na NBR 8371, conforme descrição abaixo:

- Equipamentos elétricos não PCB: Transformadores e capacitores cujo líquido isolante contenha teores inferiores a 50 mg/kg, quando ensaiados conforme a ABNT NBR 13882.
- Equipamentos elétricos contaminados por PCB: Transformadores e capacitores cujo líquido isolantes contenha teores superiores a 50 mg/kg de PCB e inferiores a 500 mg/kg, quando ensaiados conforme a ABNT NBR 13882
- Equipamentos elétricos PCB: Transformadores e capacitores, cujo líquido isolante contenha teores iguais ou superiores a 500 mg/kg de PCB, quando ensaiados de acordo com a ABNT 13882.

Essa classificação dos resíduos PCBs informa aos portadores desse material, as possíveis tratativas do resíduo, para que possa procurar a melhor forma de destinação final desses resíduos, em acordo com as instruções da Norma abaixo:

- Resíduos líquidos em geral – A tratativa de qualquer resíduo líquido, óleo isolante ou não, que apresente contaminação por PCB superior a 50 mg/kg, quando ensaiado conforme a ABNT NBR 13882, deve ser a

incineração ou a descontaminação, até o limite de quantificação do método de ensaio prescrito na ABNT NBR 13882.

- Resíduos sólidos permeáveis em geral – A tratativa de qualquer resíduo sólido permeável (materiais absorvente, EPI, madeiras, papéis, panos, etc.), contaminados em qualquer concentração por PCB deve ser a incineração.
- Resíduos sólidos impermeáveis em geral – A destinação final de qualquer resíduo sólido impermeável contaminado por PCB deve ser a incineração ou a sua descontaminação até que ele apresente concentração de PCB inferior ao limite definido pelo órgão ambiental responsável pelo licenciamento do centro de destinação final.

- ABNT NBR 13882:2008 – Correção 2013 - Líquidos isolantes elétricos - Determinação do teor de bifenilas policloradas (PCB).

Esta Norma especifica o método para determinação do teor de bifenilas policloradas (PCB) em líquidos isolantes elétricos não halogenados.

Para se determinar a concentração de PCB em fluido isolante é utilizada a técnica análise por cromatografia gasosa com detector por captura de elétrons (Electron Capture Detector - ECD), para a determinação de Ascarel em líquidos isolantes de acordo com a ABNT NBR 13882:2008.

- Decreto Nº 5.472, de 20 de junho de 2005

Promulga o texto da Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), adotada naquela cidade, em 22 de maio de 2001. Basicamente trata-se de uma Convenção internacional para o gerenciamento e eliminação dos POPs até o ano de 2025, sendo um desses POPs, os PCBs, portanto em o Brasil respeitando a sua adesão a referida Convenção deverá promover, entre outras providências, o gerenciamento da Destinação Final dos resíduos de PCBs.

- Lei 12.288 de 22/02/2006 do Estado de São Paulo

Esta lei é válida para todo o Estado de São Paulo, que trata da obrigatoriedade da Destinação Final controlada dos resíduos de PCBs, em conformidade ao Decreto 5.472/2005.

Dispõe sobre a eliminação controlada dos PCBs e dos seus resíduos, a descontaminação e da eliminação de transformadores, capacitores e demais equipamento elétricos que contenham PCBs, e dá providências correlatas.

De acordo com o Art. 1º da Lei 12.288 “As pessoas físicas ou jurídicas que utilizam ou tenham sob sua guarda transformadores, capacitores e demais equipamentos elétricos contendo PCBs, bem como óleos ou outros materiais contaminados por PCBs, ficam obrigadas a providenciar a sua eliminação progressiva até 2020, de acordo com os critérios estabelecidos nesta lei.”

Diante do cenário vivido no ano de 2020, por conta do isolamento social referente ao COVID-19, pode ser que esta lei prorogue o prazo da eliminação total dos PCBs.

3.1.9. Convenção de Estocolmo

O conselho de Administração do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), conscientes de que os Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) representam grandes e crescentes ameaças à saúde humana e ao meio ambiente, em maio de 1995, solicitou em sua decisão 18/32 que fosse realizado um processo internacional de avaliação de uma lista inicial de 12 POPs, e que o Fórum Intergovernamental sobre Segurança Química (IFCS/FISQ) elaborasse recomendações sobre uma ação internacional em torno desses poluentes, para consideração pelo Conselho Administrativo do PNUMA e pela Assembléia Mundial da Saúde até 1997.

Em Junho de 1996 o FISPQ (Forúm Intergovernamental sobre segurança química) concluiu que a informação que tinha era suficiente para mostrar a necessidade de uma ação internacional a respeito dos 12 POPs. A partir daí, um processo de negociação internacional teve início para a celebração da Convenção de Estocolmo, que foi adotada em 2001. Ela foi assinada por 151 países e na atualidade 34 países não o ratificaram. Era necessária a ratificação de 50 países para que a Convenção entrasse em vigor 90 dias depois para que começassem a aplicar políticas de eliminação destes compostos. (Convenção de Estocolmo sobre os Poluentes Orgânicos Persistentes – POPs. PNUMA, 2001).

A Convenção entrou em vigor em maio de 2004, noventa dias após o 50º depósito de ratificação, no Brasil, ela entrou em vigor em 17 de maio de 2004.

Destaca-se por incluir no seu escopo a determinação de obrigação dos Países Parte de adotarem medidas de controle relacionadas a todas as etapas do ciclo de vida – produção, importação, exportação, disposição e uso, das substâncias classificadas como Poluentes Orgânicos Persistentes – POPs. Com referência a eliminação do uso de Bifenilas Policloradas em equipamentos, o prazo para sua eliminação é até 2025, sujeito a revisão da Conferência das Partes. (Convenção de Estocolmo sobre os Poluentes Orgânicos Persistentes – POPs. PNUMA.).

3.1.10. Tipos de Resíduos

Os resíduos de PCB são classificados como “Resíduos Sólidos Industriais Perigosos – Classe I” e seu código é o F100, podem se apresentar sob diversas formas que irão exigir tratamentos diferentes para sua destinação final. A seguir, apresentamos os resíduos mais comumente encontrados.

3.1.10.1. Resíduos em estado líquido

Os resíduos em estado líquido serão diferenciados conforme o teor de PCBs que contêm e a natureza do substrato contaminado. De acordo com a classificação da USEPA e a norma NBR-10004 - "Resíduos Sólidos Classificação", qualquer material contendo PCBs, deverá ser considerado resíduo perigoso “Classe I”. Assim, todo resíduo PCB, deverá ser convenientemente tratado para disposição final adequada.

3.1.10.2. Resíduos em estado sólido

Os resíduos em estado sólido são constituídos por materiais contaminados. Estes materiais são classificados pela USEPA como "permeáveis" e "impermeáveis". Os impermeáveis são aqueles que não absorvem o produto, já os permeáveis são aqueles que absorvem o produto, como EPIs, solo, madeiras, entre outros. Para os dois casos são admitidos tratamentos diferentes.

3.1.11. Métodos de Degradação dos PCBs

Devido à grande estabilidade química os PCBs são compostos de difícil destruição sendo necessário procedimentos específicos tais como: processos químicos, térmicos ou bioquímicos. Estes procedimentos, denominados intencionais devem ser perfeitamente controlados para evitar a formação de compostos como TCDD e TCDF.

A degradação dos PCBs pode ser classificada em intencional, onde geralmente é empregado alta temperatura ou processos catalíticos. Em conjunto com estes processos encontram-se a degradação natural que é limitada a um número restrito de congêneres e a degradação acidental.

3.1.11.1. Degradação Intencional

A incineração em altas temperaturas é o método mais consagrado para eliminação de grandes quantidades de PCBs. Porém, devido às dificuldades ligadas a este processo, existe a possibilidade da formação de compostos secundários altamente tóxicos. (PENTEADO; VAZ, 2001).

Estão sendo desenvolvidas algumas metodologias alternativas para a destruição de PCBs, além do processo de incineração. Entre elas, se destacam a decomposição catalítica básica (BCD) que consiste na conversão de PCBs em compostos menos agressivos sem a produção de dioxinas e o método por micro-ondas, processo aplicado de preferência a solos contaminados onde ocorre a dessorção dos PCBs para destruição posterior. Um processo bastante favorável é a degradação radiolítica onde é empregada radiação de alta energia. (PENTEADO; VAZ, 2001)

3.1.11.2. Degradação por Processos Naturais

Contaminantes organoclorados, como os PCBs, entram na atmosfera devido principalmente à combustão de compostos orgânicos na presença de cloro molecular. Estes compostos encontram-se distribuídos entre a fase gasosa e o material particulado, na atmosfera, o que influencia sua remoção da troposfera. Nesta região da atmosfera o processo químico mais significativo para a degradação dos PCBs, é a fotólise, onde estão envolvidas inúmeras reações que dependem do número de átomos de cloro na molécula dos congêneres de PCBs. (PENTEADO; VAZ, 2001)

A degradação biológica é também um importante método natural de remoção de PCBs do ambiente, e pode ocorrer tanto por processos anaeróbicos como aeróbicos. A remoção do substituinte, em ambos, é a chave principal para sua biodegradação já que este processo de desalogenação reduz a toxicidade dos PCBs. Eles acontecem amplamente na natureza, porém estão limitados ao número de átomos de cloro e sua posição na molécula do PCB. Estudos de biodegradação aeróbica de PCBs em amostras de sedimento contaminado apontam a especificidade de alguns micro-organismos para mono, di, e tricloro bifenilas. Já a biodegradação anaeróbica por bactérias tem sido um importante artifício aplicado em sedimentos contaminados de vários rios. Essa biodegradação é usada no processo de substituição do átomo de cloro pelo hidrogênio na estrutura Bifenila, com rendimento entre 10 e 90%. Os processos de biodegradação anaeróbica *in situ* e *ex situ* do Aroclor, por micro-organismos *Desulfomonile Tiedjei*, tem sido estimulado pela presença de FeSO_4 para a desalogenação. (PENTEADO; VAZ, 2001)

3.1.11.3. Degradação Acidental e Ocupacional

Os casos extremos de degradação ocorrem quando equipamentos elétricos são expostos ao fogo, seja por incêndios em locais que possuam equipamentos elétricos com PCBs ou por processo de extração de metais em capacitores e transformadores nos desmanches. Nos dois casos os PCBs passam por um processo de queima, onde parte é dispersa no ambiente e parte pode ser transformada em PCDD e PCDF. Este é um ponto muito controverso pois para que ocorra a formação dos furanos é necessária a presença de cloro molecular como é constatado em incinerador de lixo. (PENTEADO; VAZ, 2001)

3.1.12. Métodos utilizados na degradação e descontaminação de PCBs

A destruição de bifenilas policloradas exige o rompimento das ligações moleculares obtidas por meio de adição de energia térmica ou química. (UNEP, 2004). Devido a sua alta estabilidade molecular, as bifenilas policloradas apresentam certa resistência a processos de degradação, exigindo métodos específicos de descontaminação.

Os custos para a destinação final das bifenilas policloradas, dependem do tipo de resíduo contaminado, do teor de contaminação que o mesmo possui e do tipo de tratamento que será utilizado no processo.

Os equipamentos elétricos, com contaminação de PCBs até 500 ppm podem ser reclassificados ou descontaminados, já para equipamentos elétricos com contaminação acima de 500 ppm devem ser somente descontaminados. O óleo mineral contaminado por PCBs até 500 ppm, devem ser destinados, já o óleo contaminado acima de 500 ppm normalmente são incinerados, pois o processo de descontaminação acaba se tornando inviável, o óleo PCB base devem ser incinerados.

3.1.12.1. Descontaminação

Existem diversas técnicas de descontaminação química de compostos clorados, sendo uma delas a reação com sódio metálico. O teor de cloro é convertido em sais inorgânicos, que podem ser removidos da fração orgânica por filtração ou centrifugação. As reações ocorrem sob atmosfera inerte (para evitar o risco de incêndio) e na ausência de água (resíduos são pré-secados por aquecimento). (UNEP, 1998).

3.1.12.2. Incineração

Esta tecnologia é aplicada principalmente para os resíduos contaminados com altas concentrações de PCBs, até a faixa de 30 a 40% em peso, variando com o tipo de instalação. Pode ser empregada tanto para resíduos em estado líquido como sólido, geralmente os sólidos incinerados são resíduos permeáveis como EPIs, solo, madeira, entre outros.

3.1.12.3. Reclassificação

A tecnologia de reclassificação de transformadores aplica-se a equipamentos originalmente isolados com óleo não-PCB, mas que durante manutenções envolvendo completamente do nível, regeneração, termo-vácuo, troca ou outras intervenções no

óleo, sofreram contaminação cruzada, passando a ser classificados como contaminados por PCB (com concentração de PCB no óleo entre 50 e 500 mg/kg).

O processo é indicado a equipamentos ativos. A viabilidade técnica e econômica deve ser avaliada caso a caso. O procedimento, que pode ser feito no próprio local de instalação, consiste da retirada do óleo contaminado, limpeza interna com fluido especialmente formulado e preenchimento com óleo isolante isento de PCB (<2mg/kg).

4. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do estudo de caso, seguiu-se os preceitos do estudo exploratório, por meio de pesquisas bibliográficas, acompanhamento de descontaminação 01 transformador e entrevista com Engenheiro de Produção Carlos Catharino da empresa TECORI – Tecnologia Ecológica de Reciclagem Industrial, objeto deste estudo.

4.1. Localização e História da Empresa

Fundada em 8 de novembro de 2001, a empresa oferece uma gama completa de serviços de tratamento e destinação final de transformadores, capacitores elétricos, óleos isolantes, e outros resíduos contaminados por PCBs (ascaréis).

A Tecori está localizada no Distrito Industrial Dutra no município de Pindamonhangaba – SP, a 1.600 metros da Rodovia Presidente Dutra, conforme figura 03, num terreno de 13.880 m², com uma área construída de 3.110 m². Constituída de um prédio administrativo, um galpão industrial onde os resíduos são armazenados, tratados e estocados para reciclagem, e áreas externas de apoio, como para os equipamentos de utilidades, estacionamentos e vias de acesso dos caminhões.

A empresa está devidamente licenciada pela CETESB para a execução de todos os serviços que envolvem a destinação final de resíduos de PCBs, desde a sua identificação até a sua Destinação Final, oferecendo ao mercado um pacote completo de serviços.

Figura 03: Localização da empresa Tecori



Fonte: Google Maps (2020)

4.2. Processos realizados na Tecori

4.2.1. Destinação final de transformadores, capacitores e outros resíduos contaminados com PCBs

Neste processo de Descontaminação, todo o transformador é desmontado, as partes metálicas são descontaminadas e separados os materiais celulósicos não passíveis de descontaminação (papéis isolantes, maneiras estruturais e etc.), as quais são obrigatoriamente destruídas via incineração em unidades industriais devidamente licenciadas para este fim

Este serviço é o originário da Tecori, o qual vem sendo oferecido desde 2001, por ocasião do seu licenciamento ambiental pela CETESB. O pacote de serviços oferecidos, envolve todas as fases do processo de destinação final, iniciando-se identificação e quantificação dos mais diversos resíduos de PCBs, tais como:

- Equipamentos elétricos contendo óleos contaminados com PCBs, tais como: transformadores, capacitores, disjuntores, TPs, TCs, chaves seccionadores e etc.;
- Óleos, solventes, águas e demais líquidos contaminados com PCBs;

- Materiais sólidos diversos contaminados com PCBs, tais como: solos, britas, materiais absorventes, EPIs, e etc.

O processo de destinação final possui várias etapas, sendo algumas delas:

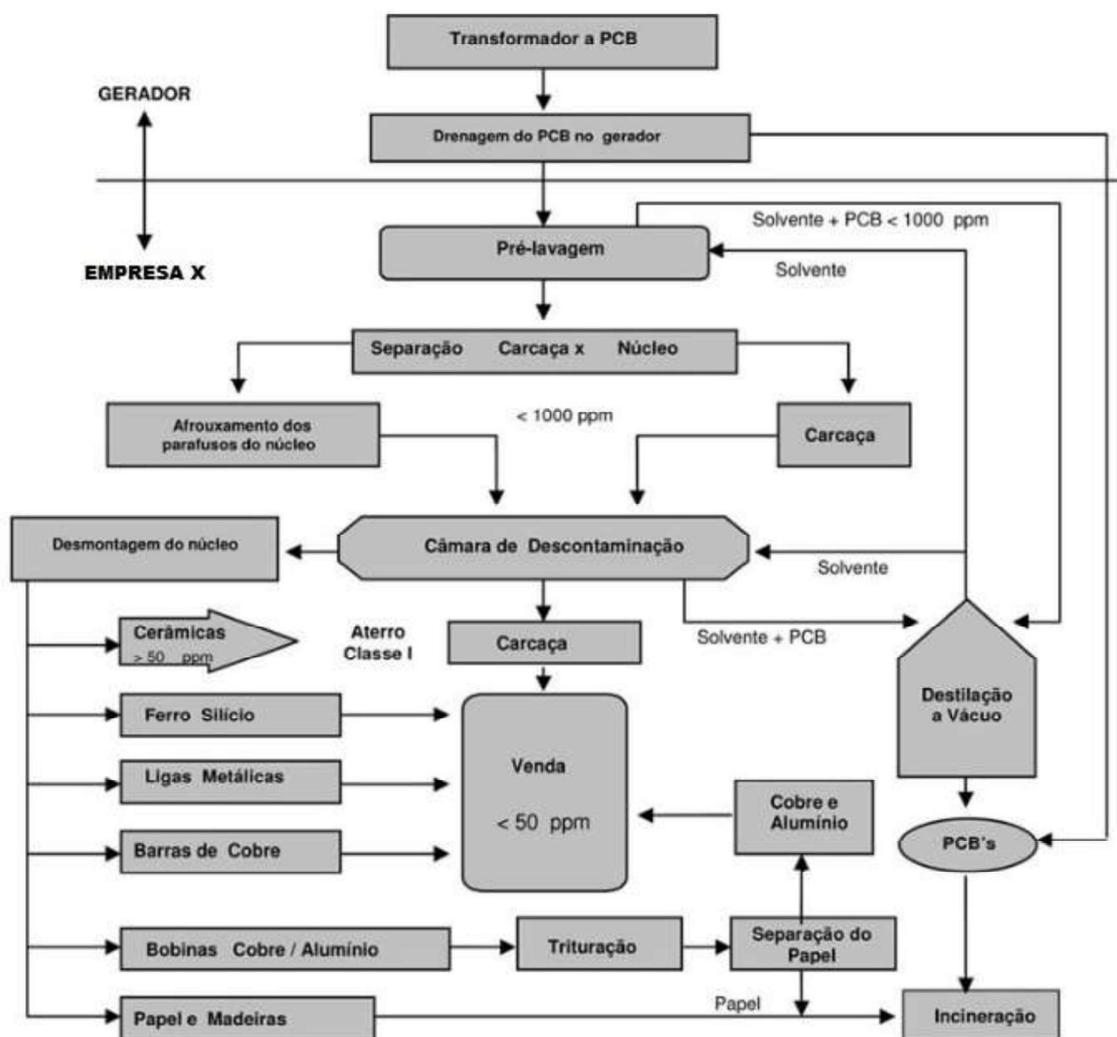
- Preparação e impermeabilização prévia da área de trabalho antes de iniciar as operações de manuseio, drenagem e preparação para o transporte.
- Drenagem dos transformadores que contenham mais do que 300 litros de óleo, em atendimento as exigências da Norma ABNT NBR 8371, acondicionando os óleos drenados em tambores metálicos especiais de 200 litros, homologados pelo INMETRO, de fornecimento Tecori, como determina a Resolução ANTT 240/2004, Portaria INMETRO 326/06 e ABNT NBR 8371.
- Planejamento e execução da logística de transporte dos resíduos, até a Tecori, atendendo as normas NBR 7500 a 7504 e NBR 8371, onde a carga transportada terá o acompanhamento e escolta de funcionário Tecori habilitado para atuar em situações de emergência. O caminhão é conduzido por motorista com habilitação de acordo com as especificações legais para transporte de cargas perigosas (MOPP).
- Destinação final de todos os materiais sólidos impermeáveis contaminados com PCBs (carcaças, assessórios e partes ativas, núcleo) do transformador, na Unidade Industrial da Tecori e emissão do respectivo Certificado de Destinação Final.
- A destinação final dos óleos isolantes contaminados com PCBs, drenados dos transformadores, e demais resíduos líquidos e sólidos permeáveis contaminados com PCBs, extraídos ou não no processo de descontaminação da TECORI, bem como os pallets e tambores metálicos, é feita via destruição térmica nos incineradores da Cetrel - Lumina, do Grupo Odebrecht, localizada no Pólo Petroquímico de Camaçari -BA, devidamente licenciados para este fim, com quem a TECORI tem um acordo técnico e comercial, dispondo inclusive de um CADRI para este fim. Sendo o transporte destes resíduos da Tecori até a Cetrel - Lumina de responsabilidade da Tecori, o qual é executado nos mesmos moldes do transporte do cliente para a Tecori, já descrito anteriormente.

Concluído este serviço, é emitido o respectivo Certificado de Destinação Final contra a Tecori, para fechamento da rastreabilidade de todo seu processo junto a sua Regional da CETESB.

O processo é totalmente automatizado, não havendo a geração de qualquer tipo de efluente.

Na figura 04, podemos observar o processo realizado pela empresa para a descontaminação dos resíduos contaminados com PCBs.

Figura 04: Descrição do projeto de descontaminação da Empresa Tecori.



Fonte: <http://www.tecori.com.br/default.php?page=31>, 2020.

4.2.2. Reclassificação

O processo de reclassificação é executado em campo, não havendo necessidade de remoção do transformador do local onde está instalado.

No final do processo de "reclassificação" o cliente receberá 2 certificados, um referente a reclassificação propriamente dita, em que o transformador passa a ser classificado como "não resíduos de PCBs", segundo a Norma ABNT NBR 8371 e a Lei 12.288 do ESP, e o Certificado de Destinação Final dos óleos drenados e descontaminados.

A tecnologia de reclassificação de transformadores a PCBs (teor de PCBs no óleo superiores a 50 mg/kg), tem como objetivo reclassificá-lo para transformadores não PCBs (teor de PCBs no óleo inferiores a 50 mg/kg), permitindo o seu reuso.

A atividade de "reclassificação de transformadores a PCBs, para não PCBs" no Estado de São Paulo, só pode ser realizada por empresas devidamente licenciadas para esta atividade, devendo constar na sua Licença de Operação ou Funcionamento esta atividade de reclassificação de transformadores.

Principais etapas do processo de Reclassificação:

- Execução de ensaios elétricos iniciais, sem mudança se TAPs;
- Medição da resistência de isolamento;
- Medição da resistência ôhmica dos enrolamentos;
- Medição da relação de transformação da tensão.
- Impermeabilização das áreas onde serão feitas as drenagens do transformador.
- Drenagem do óleo contaminado para tambores especiais (homologados), de fornecimento TECORI, tudo em conformidade com a Resolução ANTT 240/2004, Portaria INMETRO 326/06 e ABNT NBR 8371.
- Retirada de 2 amostras dos óleos contaminado para análise de confirmação do teor de PCBs. Uma das amostras ficará como contra prova, amostras esta lacrada e assinada pelas Partes.
- A drenagem será com injeção simultânea de Nitrogênio PP (N₂ – Pré-purificado)
- Repouso de no mínimo 6 horas para gotejamento do óleo impregnado na parte ativa.
- Lavagem interna com produto especial, em duas etapas, pelo enchimento parcial com 10 % do volume nominal de óleo do transformador, e recirculação através de filtro bomba especial.

- Drenagem de todo óleo de lavagem após 6 horas de gotejamento, para tambores especiais (homologados pelo INMETRO) de fornecimento TECORI, tudo em conformidade com a Resolução ANTT 240/2004, Portaria INMETRO 326/06 e ABNT NBR 8371.
- Enchimento final com óleo NOVO, marca BR- Petrobras AV-60 IN e tratamento termo-vácuo final pela recirculação de 3x o volume de óleo.
- Retirada de amostra para ensaios físico-químicos (grupo II) / cromatografia e teor de PCBs, em conformidade com a ABNT NBR 13.882.
- Colocação de lacres no transformador para garantir a inviolabilidade de possível contaminação dos mesmos até que se faça a amostragem final após 90 dias, para determinação do teor residual dos PCBs.
- Execução de ensaios elétricos finais, sem mudança se TAPs:
- Fornecimento de relatório detalhado.
- Rompimento dos lacres para retirada de amostras dos óleos, após 90 dias da entrega dos transformadores.
- Análise do teor residual de PCBs segundo a Norma ABNT NBR 13.882.
- Em se confirmado o teor residual de PCBs inferior a 50 mg/kg, será emitido o respectivo Certificado de Reclassificação do transformador de NÃO PCBs.
- Garantia: Caso a análise do óleo retirado após 90 dias apresente teor de PCBs igual ou superior a 50 mg/kg, todas as operações acima descritas serão refeitas, sem qualquer custo adicional, desde que os lacres estejam íntegros antes da retirada das amostras dos óleos.
- Destinação Final dos óleos: Os óleos drenados e o líquido de lavagem são enviados para Destinação Final na TECORI, via descontaminação e ou incineração, sendo emitido o respectivo Certificado de Destinação Final ao Cliente.

4.2.3. Descontaminação de óleos dielétricos contaminados com PCBs

Este processo tem como objetivo decompor as bifenilas policloradas existentes em óleos contaminados com estes produtos.

O sistema pode processar óleo contaminado com até 2000 mg/kg para valores inferiores a 2 ppm que se caracteriza "isento de PCBs", conforme Norma ABNT NBR 8371, e a Lei 12.288 de 22/02/2006.

O processo de descontaminação baseia-se na reação entre o sódio elementar com as bifenilas policloradas formando bifenilas, cloreto de sódio e hidróxido de sódio. Este processo tem como 2 objetivos:

- A Destinação final dos óleos "Certificada" sem sua destruição como no processo de incineração, permitido a sua reciclagem, com custos inferiores a incineração, que consome combustíveis não renováveis e contribuição ao efeito estufa;
- A possibilidade de se regenerar os óleos após a sua descontaminação, o que é exigida pela Lei 12.288 de 22/02/2006. Assim os óleos contaminados com PCBs, podem ser reutilizados após a sua descontaminação e posterior regeneração.

O óleo contaminado ao ser recebido nas instalações da TECORI será armazenado num reservatório de 20 mil litros.

O processo se inicia por uma filtragem, onde serão retirados sólidos e a água livre seguindo para um secador que promoverá a secagem da água dissolvida. O óleo retorna ao tanque em circuito fechado até a eliminação total da água.

Uma vez desidratado, o óleo é enviado pela bomba dosadora para a sessão de reação passando primeiramente pelos aquecedores elétricos para o aquecimento de ativação da reação. O óleo fica recirculando pelos aquecedores até atingir a temperatura de 130 oC. Antes de entrar no reator centrífugo, a corrente recebe a adição dosada de reagente (emulsão de sódio metálico em óleo mineral) através da bomba dosadora, com também a adição de uma solução aquosa de álcool isopropílico através de uma bomba dosadora, o qual tem a função de favorecer a reação.

Na fase de reação, num tempo muito curto ocorre também a reação entre a água e parte do sólido, produzindo H^+ que será necessário na substituição do cloro no PCB gerando NaCl, NaOH e bifenila.

Após a reação, o óleo aquecido é resfriado no trocador e posteriormente recebe uma adição de água. A função desta água é eliminar o sódio remanescente, gerando, no entanto H_2 e mais NaOH. Uma adição de CO_2 na corrente promove o "stripping" do H_2 através do vaso separador gás/líquido. O efluente gasoso, contendo apenas

CO₂, H₂ e H₂O é dirigido para descarte em sistema de adsorção com carvão ativo. As fases líquidas, água / óleo são separadas nos vasos separadores.

O óleo descontaminado é enviado ao vaso de espera, onde é analisado, e em se confirmado o teor de PCBs inferior a 2 mg/kg (isento de PCBs), o mesmo é enviado para venda, reciclagem e ou regenerado para reuso como óleo dielétrico.

4.3. Entrevista com Gerente Geral da Empresa Tecori

Foi realizada entrevista com o Engenheiro Químico Daniel Closs (gerente geral da empresa), as perguntas foram simples e objetivas. O intuito da entrevista, era conhecer melhor o processo realizado pela empresa e as dificuldades encontradas para realizar a destinação dos resíduos. Dentro desse contexto, foram feitas as seguintes perguntas:

- Como é feita a reclassificação?

A reclassificação consiste em um processo onde o serviço é realizado no local onde se encontra o transformador, garantindo o máximo de remoção do resíduo de PCBs. Primeiramente o equipamento é drenado, retirando de 80% à 90% do óleo contaminado, em seguida é feita uma lavagem física mecânica (que consiste em jogar óleo novo, arrastando o resíduo que permaneceu no equipamento) e deixa escorrer o restante do óleo que ficou nas partes permeáveis. O processo de destinação do PCB, não é feita no processo de reclassificação, ela é feita no processo de tratamento do óleo que está contaminado. Então, na verdade a reclassificação é tirar o máximo de PCBs do transformador para tratar ele na Tecori, como no processo de reclassificação não pode descontaminar as partes permeáveis e impermeáveis, traz a o máximo de resíduo possível, que no caso é o óleo. No transformador coloca óleo novo, volta a operar ele e o que tiver de PCB residual vai homogeneizar no óleo novo. Depois vai fazer a análise, garantindo que o teor esteja abaixo de 50 ppm, seguindo a legislação. Normalmente os transformadores ficam com 5% à 7% do teor inicial de contaminação.

Por exemplo, se você estiver com um transformador de 500 ppm e faça a reclassificação, o teor vai ficar bem próximo de 50 ppm, então é recomendado que faça o procedimento duas vezes. Por exemplo, o teor inicial era de 500 ppm, após a reclassificação ficou com 30 ppm, então é bom que faça o processo de novo para que fique com 3 ppm.

- Todos os resíduos acima de 500 ppm são incinerados?

São, mas essa decisão é da Tecori, porque tecnicamente existem duas questões, a normativa ABNT, onde estabelece que resíduos que contenham acima de 500 ppm são considerados PCBs, mas isso é só uma norma. Tecnicamente, desde que não seja Ascarel puro, qualquer concentração de PCBs é possível fazer a descontaminação, porém o custo será mais elevado, pois será necessário uso de mais materiais, ou seja financeiramente não vale, porque vai sair mais barato incinerar do que ficar descontaminando de uma forma que garanta a isenção de PCBs, porque normalmente aqui na Tecori nós trabalhamos a descontaminação do óleo para a isenção de PCBs e não só reduzir a contaminação para abaixo de 50 ppm. Já a legislação do Estado São Paulo, estabelece que acima de 50 ppm é PCB e que Ascarel puro deve ser incinerado.

Como padrão da Tecori, para garantir a descontaminação total, acima de 500 ppm nós incineramos os resíduos.

- É exigido por lei algum treinamento específico para realizar os serviços de destinação dos resíduos?

Treinamento não, mas o que a legislação estabelece é que as empresas que vão realizar a destinação, estejam licenciadas para tratar o resíduo. Para manipular os PCBs, seja internamente na Tecori ou em campo a ABNT exige alguns tipos de EPIs específicos, como por exemplo Tyvek, Máscara de vapor orgânico, entre outros.

Em legislação não exige treinamento, porém as empresas exigem de seus colaboradores treinamento específicos para que não ocorra acidentes, vazamentos, entre outros.

- Qual a parte mais importante do processo de descontaminação?

A descontaminação do PCB sólido impermeável, ao meu ver, existem duas condições importantes primeiro é a separação do solvente do resíduo, no vaporizador, porque o nosso ciclo é um ciclo fechado, então se reaproveita o solvente, obviamente que não recupera 100% porque uma parte acaba sendo arrastada. Mas o legal é que é um processo limpo, porque tem um solvente orgânico (percloroetileno), mas no vaporizador você recupera ele por conta da vaporização e esse mesmo percloroetileno volta para o processo e o PCB vai embora, ou seja é um ciclo fechado onde se reaproveita solventes, então é um processo limpo, onde não tem emissão de gases.

Para o processo em si, o importante é a temperatura do solvente que garanta que ele entre como vapor dentro da máquina, fazendo com que a lavagem, principalmente das partes internas mais eficaz.

Na descontaminação do óleo, o processo é um só, é uma reação química do sódio metálico com o cloro da bifenila policlorada, então essa reação em si é a mais importante, ela tem umas informações essenciais como a temperatura em que ocorre essa reação, o óleo tem que estar aquecido, uma coisa muito importante é que não pode ter água no resíduo que vai descontaminar, porque o sódio metálico reage primeiro com a água. Então o mais importante é essa reação do sódio metálico com cloro.

- Quais vantagens e desvantagens do processo?

A vantagem do processo de descontaminação do equipamento, é a recuperação dos solventes. Mas a grande vantagem nossa, é como a gente vaporiza o percloro e usa o percloro em vapor, então a gente recupera praticamente 100% e a desvantagem é que não conseguimos recuperar o transformador, para que ele continue sendo usado como transformador, porque como tem as partes permeáveis, usa um solvente orgânico com temperatura elevada, então definitivamente degrada o papel do enrolamento do cobre, então não dá para usar esse processo para descontaminar o equipamento e voltar ele para operação, então literalmente o processo sucateia o equipamento. Então ao meu ver isso é uma grande desvantagem, pois poderia ser feito por exemplo uma reclassificação do equipamento de retirar do PCB dele, se desse para trazer ele para unidade, tratar ele e devolver para o cliente. Mas, isso não consegue.

Vantagens da descontaminação do óleo é a recuperação do óleo, então consegue ter ele zerado de PCB e o óleo pode passar por uma regeneração e voltar para o setor elétrico ou mandar ele para re-refino, onde vira matéria prima para lubrificantes e outros tipos de óleo e a desvantagem é o próprio sódio metálico, pois é um reagente muito forte, onde tem que ter alguns cuidados específicos, deve ser controlado, tem que ter alguns tipos de prevenção de acidente mais pesados, porque ele reage com umidade numa reação muito exotérmica, então talvez se tivesse algum outro reagente que fizesse o mesmo trabalho de separar o cloro da bifenila e que fosse mais fácil de manipular seria uma vantagem (até existe reagentes assim, mas tem problema de importação).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi acompanhado na empresa Tecori, a destinação final de um transformador contaminado por PCB, transformador este com peso de 4.880 kg, 1.890 litros de óleo, contaminado com teor de PCBs 67,8 ppm.

O transporte é sempre acompanhado pelos colaboradores da empresa Tecori até a sua chegada na unidade, para realizar o transporte do resíduo, a transportadora deve ser homologada e possuir documentação específica para resíduos perigosos. Para que o resíduo possa ser transportado, alguns documentos são obrigatórios, como por exemplo: Manifesto de Transporte (MTR), CADRI, Ficha de emergência, Nota fiscal de simples remessa ou declaração.

5.1. Processo de descontaminação e destinação final dos resíduos líquidos

O óleo presente no equipamento, é drenado em campo no próprio cliente, acondicionados e transportados à Tecori em tambores de 200 litros homologados pelo INMETRO.

Ao chegar na unidade da Tecori, os tambores são identificados com etiquetas verde (na qual significa que o teor de contaminação está abaixo de 500 ppm), amarelas (na qual significa que o teor de PCB é desconhecido) ou vermelhas (na qual significa que o teor de contaminação está igual ou acima de 500 ppm). No caso do transformador estudado, foi usada a etiqueta verde, pois o índice de contaminação é de 67,8 ppm.

O óleo ao chegar na unidade da Tecori, passa por um processo de termo-vácuo, para que se caso haja resíduos de água no óleo, esse resíduo seja eliminado. O processo de termo-vácuo, nada mais é do que um processo de “secagem” do óleo, no qual o óleo é aquecido, fazendo com que a água evapore, após esse processo, o óleo é transferido para o tanque de óleo contaminado, estando apto para iniciar o processo de descontaminação.

O processo de descontaminação consiste em: preparação do sódio metálico (reagente no processo de descontaminação), e é realizada também uma solução de óleo mineral + álcool isopropílico. Essas duas soluções são inseridas em bombas presentes no equipamento de descontaminação.

Para que ocorra a descontaminação primeiramente o óleo contaminado passa por dois tanques aquecedores, para que alcance uma temperatura de 120°C, este aquecimento é realizado para que haja agitação das moléculas de bifenilas policloradas, gerando instabilidade entre elas. Após o aquecimento o óleo passa por uma tubulação, onde a bomba injeta o sódio metálico e a outra bomba injeta a solução com álcool isopropílico, o óleo que está passando pela tubulação arrasta estas soluções e vai para a bomba multi-estágio. Nessa bomba o óleo é agitado até que as bifenilas policloradas sejam separadas, nessa separação o cloro reage com o sódio metálico virando sal, deixando as bifenilas soltas. Após a separação de moléculas, o óleo passa por um trocador de calor, para que a temperatura abaixe e vai para o tanque de gás separador, onde é injetado gás carbônico para neutralizar a parte ativa das moléculas que foram separadas.

Depois de todo esse processo, o óleo é transferido para o tanque de decantação 01, nesta etapa a transferência começa a ser feita por gravidade, para que todo o resíduos de bifenila e sal fique na parte inferior do tanque. Logo após ele é transferido para o tanque 02, onde o óleo já sai limpo, depois é transferido para o tanque 03. Após o enchimento total do tanque 03, é ligada uma bomba onde o óleo descontaminado é transferido para IBCs, onde serão coletadas amostras de cada IBCs e mandada para o laboratório realizar análise. Após o laudo e comprovada a eficiência do processo de descontaminação o óleo vai para sua destinação final (vendido para re-refino).

Nas figura 05 e 06, é possível observar o equipamento utilizado para realizar o processo de descontaminação do óleo mineral contaminados com PCBs.

Figura 05: Processo de descontaminação do óleo



Fonte: Tecori (2020)

Figura 06: Tanques usados no processo de descontaminação



Fonte: Tecori (2020)

5.2. Processo de descontaminação e destinação final dos resíduos sólidos

Os resíduos sólidos são transportados à Tecori, seguindo todos os procedimentos obrigatórios, ao chegar na unidade o transformador drenado é levado até a rampa para que possa ser desmontado, a desmontagem é feita em cima da rampa para que os resíduos de óleo restante no equipamento ou peças contaminadas, caiam no tanque, fazendo com que não ocorra contaminação na fábrica. Com o transformador desmontado, a carcaça é colocada para escorrer, em seguida é realizada a separação do núcleo (parte ativa) da carcaça.

Depois de separado o resíduo é levado para a cuba de descontaminação, também conhecida como autoclave, ela é fechada e todo o processo é feito a vácuo, para que em caso de acidentes o material não seja espalhado.

A descontaminação é feita por ciclos, esses ciclos variam de acordo com o teor de PCBs e tipo de resíduos. O primeiro ciclo leva de 03:00 a 04:00 para ser concluído, os demais ciclos, pela autoclave já estar aquecida leva de 01:30 à 01:40 para ser concluído.

O ciclo começa quando o percloroetileno é injetado na autoclave, que age lavando o equipamento, essa lavagem acontece através de um chaminé encontrada no fundo da autoclave, onde joga o vapor no equipamento e por diferença de temperatura, o PCB é condensado e mandado para o fundo da autoclave. Ainda por diferença de temperatura o solvente é separado do PCB, evaporando e deixando o somente PCB no fundo da autoclave. Assim o solvente em vapor é mandado para autoclave novamente, quando a peça atinge a mesma temperatura que o solvente, o solvente se condensa, arrastando novamente o PCB para baixo, finalizando assim um ciclo de descontaminação.

Para o transformador em estudo foi realizado um total de 14 ciclos para a carcaça e 02 ciclos para a parte ativa.

Na figura 07, é mostrado a cuba utilizada para a descontaminação das partes sólidas contaminadas com PCBs.

Após finalizado o processo de descontaminação, os equipamentos são levados para uma parte da fábrica, onde são retiradas amostras e mandadas para um laboratório analisar se a descontaminação obteve sucesso. A parte ativa como cobre e silício são cortadas em pequenos pedaços e mandado para análise, já a carcaça é feito a inserção de algodão nas partes abertas, esses algodões são retirados da carcaça e enviados para análise. Após todo esse procedimento, chegando o laudo e

comprovada o sucesso da descontaminação, os resíduos são enviados à sua destinação final.

O papel e a madeira, por serem materiais permeáveis, são acondicionados em tambores homologados pelo INMETRO e enviados para incineração, já os materiais não permeáveis são reciclados e/ou vendidos para empresas homologadas e licenciadas pela CETESB.

Tabela 01 – Resultados do processo de descontaminação do transformador

Transformador Descontaminado	
Teor Inicial	Teor final
68,3 ppm	<2,0 ppm

O processo de descontaminação foi constatado de acordo com o laudo laboratorial como eficiente. Pela classificação da Norma 8371, de acordo com os resultados apresentados o resíduo é classificado como isento de PCB.

Figura 07: Cuba de descontaminação de resíduos sólidos



Fonte: Tecori (2020).

6. CONCLUSÕES

A destinação dos resíduos contaminados por PCBs, ainda é um assunto pouco comentado. Muitas empresas, possuem resíduos contaminados, porém não possuem conhecimento sobre as legislações ambientais referentes a estes resíduos. Muitas delas são localizadas no Estado de São Paulo, e nem sabem sobre a legislação estadual, onde estabelece a destinação final destes resíduos até o final de 2020.

O Brasil já dispõe de recursos tecnológicos para a destinação final adequada dos resíduos de PCBs (bifenilas policloradas), conhecido como ascarel. Porém o controle e fiscalização desses resíduos, ainda são problemas a ser solucionados.

Para a elaboração deste estudo, foi realizada uma entrevista com o Gerente Geral da Empresa, esta entrevista foi de extrema importância, também foi acompanhada a descontaminação de um transformador na empresa Tecori, após a descontaminação foi constatada a eficiência do processo, deixando o teor dos resíduos < 2,00 ppm.

Acompanhando alguns casos da Empresa, foi possível observar que algumas empresas entram em contato querendo fazer somente a destinação do óleo e descartando o transformador de forma incorreta, como por exemplo sucatear, ou voltar à operação, mesmo estando contaminado e infelizmente esses descartes indevidos acontecem por conta da falta de fiscalização (até existem fiscalizações, mas são poucas). Em alguns casos, as empresas destinam o óleo e descaracterizam o transformador para que na hora de sucatear, o resíduo não possa ser identificado e ligado à empresa, evitando assim que a empresa leve multa. Uma sugestão para que esses imprevistos não ocorram são, promover o adequado controle e gerenciamento da destinação final dos resíduos de PCBs, exigir rastreabilidade dos "recuperadores e sucateiros" de transformadores, com controle e saída dos mesmos (análise dos óleos), exigir atestados técnicos dos leiloeiros de transformadores que comprovem não se tratar de transformador contaminado com PCBs, legislação que determine a destinação final dos transformadores e PCBs confinados em locais públicos; e uma legislação federal para regulamentar os processos de licenciamento ambiental das unidades de destinação final de resíduos de PCBs.

O estudo foi de extrema importância para conhecimento sobre o tema abordado, dificuldades e vantagens no tratamento de PCBs.

BIBLIOGRAFIA

ALTERO, Henrique Rossi. **REMOÇÃO DE BIFENILAS POLICLORADAS EM REATOR ANAERÓBIO**. 2011. 104 f. TCC (Graduação) - Curso de Departamento de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5356-1**: Transformadores de potência – Parte 1: Generalidades. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8371**: Ascarel para transformadores e capacitores – Características e riscos. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13882**: Líquidos isolantes elétricos - Determinação do teor de bifenilas policloradas (PCB). Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

MORAES, Jéfter Silva de; MAIA, Carlos Henrique. **GERENCIAMENTO AMBIENTAL DE TRANSFORMADORES ELÉTRICOS CONTAMINADOS POR PCBs (BIFENILAS POLICLORADAS) EM UM CCM (CABINE DE COMANDO DE MOTORES) DE UMA INDÚSTRIA DO SUDOESTE GOIANO**. 2016. 10 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2016.

PENTEADO, José Carlos Pires *et al.* O LEGADO DAS BIFENILAS POLICLORADAS (PCBs). **Quim. Nova**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 390-398, 13 nov. 2000.

PREIS, Christian Milanez. **DIAGNÓSTICO DA GESTÃO DE ÓLEOS ISOLANTES DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA NAS SUBESTAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO ESTADO DE SANTA CATARINA**. 2013. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.

SILVA, Dannielle Janainne da. **REMOÇÃO DE BIFENILAS POLICLORADAS (PCB) CONTIDAS EM MATERIAL SÓLIDO CONTAMINADO EMPREGANDO CO₂ SUPERCRÍTICO: ESTUDO EXPERIMENTAL E MODELAGEM TERMODINÂMICA**. 2014. 205 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutor em Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

VALENTE, Ricardo Pires Castanho. **PASSIVO AMBIENTAL – RESÍDUOS DE PCBS (ASCARÉIS)**.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº 313**, de 29 de outubro de 2020. Publicada no DOU nº 226, de 22 de novembro de 2002, Seção 1, páginas 85-91. Disponível em <<http://www.iap.pr.gov.br/arquivos/File/Legislacao/residuos/CONAMA3132002.pdf>>. Acessado em 21 de setembro 2020.

BRASIL. **Decreto nº 5.472, de 20 de junho 2005**. Disponível em
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2004-2006/2005/decreto/d5472.htm>.
Acessado em 21 de Setembro de 2020.

BRASIL. **Instrução Normativa SEMA/STC/CRS/ Nº 001 de 10 de junho de 1983**.
Disponível em
<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=1A8E161DBB813D7B6EF4046F33210F03.proposicoesWebExterno2?codteor=700572&file name=LegislacaoCitada+-PL+6157/2009>. Acessado em 21 de Setembro de 2020.

BRASIL. **Lei nº 12.288, de 22 de fevereiro 2006**. Disponível em
<<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2006/lei-12288-22.02.2006.html#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20elimina%C3%A7%C3%A3o%20controlada,PCBs%2C%20e%20d%C3%A1%20provid%C3%AAs%20correlatas>>. >. Acessado em 21 de Setembro de 2020.

BRASIL. **Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Disponível em
<https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra;jsessionid=1A8E161DBB813D7B6EF4046F33210F03.proposicoesWebExterno2?codteor=700572&file name=LegislacaoCitada+-PL+6157/2009>. Acessado em 21 de Setembro de 2020.

BRASIL. **Portaria Interministerial nº 19, de 29 de janeiro de 1981**. Disponível em
<<http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/bra15389.pdf>>. Acessado em 17 de agosto de 2020.

Estudo sobre as Bifenilas Policloradas. **Proposta para atendimento á “Convenção de Estocolmo”, Anexo A - Parte II**. Disponível em:
<https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_prorisc_upml/arquivos/estudo_sobre_as_bifenilas_policloradas_82.pdf>. Acessado em 10 de agosto de 2020.

Tecori – Tecnologia Ecológica de Reciclagem Industrial. **Destinação final de transformadores, capacitores e outros resíduos contaminados com PCBs**. Disponível em: <<http://www.tecori.com.br/default.php?page=21>>. Acessado em 10 de agosto de 2020.

Tecori – Tecnologia Ecológica de Reciclagem Industrial. **Descontaminação de óleos dielétricos contaminados com PCBs**. Disponível em:
<<http://www.tecori.com.br/default.php?page=23>>. Acessado em 10 de agosto de 2020.

Tecori – Tecnologia Ecológica de Reciclagem Industrial. **Reclassificação de transformadores a PCBs, para transformadores não PCBs, para fins de reúso**. Disponível em: <<http://www.tecori.com.br/default.php?page=22>>. Acessado em 10 de agosto de 2020.