

REVISTA

IPT

Tecnologia
e inovação

18

ipt[®]
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

Dezembro/2021



RESÍDUOS SÓLIDOS

Proposta para encerramento
e recuperação de áreas de
disposição irregular

METROLOGIA

resultados da pesquisa
com usuários de medidores
de pH e de condutividade

DIRETIVA RoHS

uso de substâncias
químicas na indústria
de eletroeletrônicos



REVISTA IPT | Tecnologia e Inovação

v.5, n.18, dezembro, 2021

Quadrimestral

Editores-chefes

Eduardo Luiz Machado

Andreia Longuinho da Silva

Conselho Editorial

Eduardo Luiz Machado

Silas Derenzo

Assistentes Editoriais

Augusto Max Colin

Bruno D. Francisco da Silva

Ester Garcia Ferreira da Silva

Hamilton Lelis Ito

João Antonio Rodrigues Garcia

Luiz Silvano

Maria Natalina Martins

ISSN 2526-5830

Copyright© IPT. Todos os direitos reservados. Todos os textos, imagens, gráficos, e outros materiais são protegidos por direitos autorais e outros direitos de propriedade intelectual pertencentes ao IPT. A reprodução dos textos da Revista IPT somente será permitida para fins didáticos e de pesquisa, desde que com a citação deste material. Proibida a reprodução total ou parcial, com intuito de lucro direto ou indireto, por qualquer meio ou processo.

Créditos técnicos

DIAGRAMAÇÃO E ARTE:
Luiz Silviano

REVISÃO:
Eduardo Luiz Machado

Av. Prof. Almeida Prado, 532 - Cidade Universitária - Butantã
05508-901 - São Paulo - SP

ISSN 2526-5830

SUMÁRIO

p.06

Proposta metodológica para o encerramento e recuperação de áreas de disposição irregular de resíduos sólidos

Autores: Camila Camolesi Guimarães, Alexandre Muselli Barbosa, Leticia dos Santos Macedo

p.23

Potencial de emissão de bifenilas polibromadas (PBBs) e difenis éteres polibromados (PBDEs) das Indústrias Brasileiras de Eletroeletrônicos.

Autores: João Paulo Amorim de Lacerda, Jamille Moreira Moraes, Jeferson Pereira de Oliveira

p.39

Case Study – Resort Corais de Búzios (RN)

Autores: Flávio Utida de Moraes Junior, Alexandre Marques Nogueira Cobra, Valdecir Angelo Quarcioni, Zehbour Panossian

p.45

Uma pesquisa com usuários sobre gestão metrológica na área de físico-química

Autor: Fabrício Gonçalves Torres, Diogo Cesar Borges Silva; Marcel Joly

p.67

Sistema de fôrmas para lajes maciças de concreto armado: recomendações para emprego do sistema deck.

Autor: Fernando Rodrigues Fernandes Júnior, Eduardo Ioshimoto

SOB NOVA DIREÇÃO



Eduardo Luiz Machado
Diretor Técnico em Ensino Tecnológico

A partir desta décima oitava edição da 'Revista IPT, Tecnologia e Inovação', a responsabilidade editorial pela publicação é da Unidade de Negócios Ensino Tecnológico do IPT. Tem tudo a ver. Afinal, o objetivo das atividades de ensino do IPT é formar profissionais capacitados, contribuir para a pesquisa e inovação tecnológica, a competitividade e a produtividade nas empresas, organizações públicas e privadas do país.

A presente edição da revista reúne cinco artigos técnicos selecionados e conecta-se à recém-encerrada "26a Conferência das Nações Unidas sobre Mudança Climática (COP26)", realizada no mês de novembro em Glasgow, Escócia. Com artigos que tratam de assuntos relacionados à agenda mundial, como a gestão de resíduos sólidos urbanos e o potencial de emissão de bifenilas polibromadas e difenis éteres polibromados, colocamos em foco questões ligadas ao meio ambiente.

Abre esta edição artigo intitulado "Proposta metodológica para o encerramento e recuperação de áreas de disposição irregular de resíduos sólidos". Seus autores são Camila Camolesi Guimarães, Alexandre Muselli Barbosa e Leticia dos Santos Macedo, da Seção de Investigações, Riscos e Gerenciamento Ambiental do IPT. Apresentam uma proposta metodológica para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados.

Na sequência o "Potencial de emissão de bifenilas polibromadas (PBBs) e difenis éteres polibromados (PBDEs) das Indústrias Brasileiras de Eletroeletrônicos", artigo que trata impactos do uso dessas substâncias retardantes de chamas. São seus autores João Paulo Amorim de Lacerda e Jamille Moreira Moraes, do Laboratório de Química e Manufaturados do IPT; e Jeferson Pereira de Oliveira, do Mestrado Profissional Habitação: Planejamento e Tecnologia do IPT.

Em "Case Study – Resort Corais de Búzios (RN)", texto em inglês, um estudo da corrosão de esquadrias de alumínio em ambiente marinho. Seus autores são Flávio Utida de Moraes Junior (E-Metal Alumínio) e Alexandre Marques Nogueira Cobra (SP Obras), do Mestrado Profissional Habitação: Planejamento e Tecnologia do IPT; e Valdecir Angelo Quarcioni e Zehbour Panossian, pesquisadores do IPT.

No artigo "Uma pesquisa com usuários sobre gestão metrológica na área de físico-química", aponta-se a necessidade de capacitação dos usuários de medidores de pH e de condutividade. Os autores são Fabrício Gonçalves Torres e Diogo Cesar Borges Silva, do Laboratório de Metrologia Elétrica do IPT; e Marcel Joly, da Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de São Paulo.

"Sistema de formas para lajes maciças de concreto armado: recomendações para emprego do sistema deck" fecha esta edição. Seus autores Fernando Rodrigues Fernandes Júnior e Eduardo Ioshimoto, do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia do IPT, apresentam recomendações para formas deck em estrutura com lajes planas de concreto armado.

Boa leitura!

Artigo técnico

Proposta metodológica para o encerramento e recuperação de áreas de disposição irregular de resíduos sólidos

Methodological proposal for the closure and recovery of inadequate waste disposal sites

Camila Camolesi Guimarães^{a*}, Alexandre Muselli Barbosa^a,
Letícia dos Santos Macedo^a

^a Seção de Investigações, Riscos e Gerenciamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo – SP, Brasil

E-mail: camilacg@ipt.br

Palavras-chave:

lixão; aterro controlado; área degradada; impacto ambiental; recuperação ambiental.

Keywords:

dumpsite; controlled landfill; brownfield; environmental impact; environmental recovery.

Resumo

A existência de áreas de disposição inadequada de resíduos representa atualmente um dos principais desafios para a gestão ambiental municipal no Brasil. O presente artigo tem por objetivo apresentar uma proposta metodológica para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados, aplicável às diversas realidades existentes no país. Tal metodologia se baseia em legislações, documentos e orientações técnicas produzidas por órgãos nacionais e internacionais referentes a diferentes etapas do processo de encerramento, bem como na experiência do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) no apoio aos municípios paulistas para o encerramento de áreas de antigos lixões e aterros controlados nos últimos 10 anos, por meio do Programa de Apoio Tecnológico aos Municípios (PATEM) do Governo de Estado de São Paulo. A proposta metodológica desenvolvida para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados inclui cinco etapas: desativação da área, levantamento de dados de uso e ocupação atual e histórica, caracterização ambiental e geotécnica, estudos complementares e projeto de encerramento. Cada etapa foi desenvolvida para atender as diferentes realidades dos municípios, com adaptação da metodologia de acordo com as características intrínsecas das áreas. Espera-se que esta proposta metodológica contribua na definição de orientações técnicas e procedimentos para o encerramento de lixões e aterros controlados no Brasil, para apoio aos municípios no planejamento e viabilização das ações de recuperação ambiental dessas áreas, bem como no avanço do atingimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável nos níveis federal, estadual e municipal.

Abstract

The existence of inadequate waste disposal sites currently represents one of the main challenges for municipal environmental management in Brazil. This article aims to present a methodological proposal for the closure and recovery of dumpsites and controlled landfills, applicable to the different realities existing in the country. This methodology is based on legislation, documents and technical guidelines produced by national and international bodies regarding different stages of the closure process, as well as on the experience of the Institute for Technological Research (IPT) in supporting São Paulo municipalities for the closure of dumpsites in the last 10 years, through the Technological Support Program for Municipalities (PATEM) of the State Government of São Paulo. The methodological proposal developed for the closure and recovery of dumpsites and controlled landfills includes five stages: deactivation of the area, survey of current and historical use and occupation data, environmental and geotechnical characterization, complementary studies and closure project. Each stage was developed to meet the different realities of the municipalities, with adaptation of the methodology according to the intrinsic characteristics of the areas. It is expected that this methodological proposal will contribute to the definition of technical guidelines and procedures for the closure of dumpsites and controlled landfills in Brazil, to support municipalities in the planning and implementation of environmental recovery actions in these areas, as well as in advancing the achievement of the Sustainable Development Objectives at the federal, state and municipal levels.

1 Introdução

A gestão e a disposição adequada de resíduos sólidos urbanos (RSU) são grandes desafios para os municípios brasileiros. De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2020), 65,11 milhões de toneladas de RSU foram coletadas no Brasil em 2019, o que representa uma coleta de 178,4 mil toneladas por dia nos municípios brasileiros. Desse montante, 15,9 milhões de toneladas foram dispostas em unidades de disposição final consideradas inadequadas (aterros controlados e lixões), que correspondem a 25 % do total de RSU dispostos em 2019. O SNIS (2020) indica que a maior parte dos lixões em operação no Brasil está localizada na região Nordeste (55,8 % do total), seguida pelas regiões Centro-Oeste e Norte. No caso dos aterros controlados, a predominância encontra-se na região Sudeste (65,3 %), seguida pela região Nordeste.

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2020), os lixões e aterros controlados são proibidos e configurados como crime ambiental, por não apresentarem o conjunto de medidas e sistemas adequados para a proteção ambiental, resultando em impactos diversos, como a contaminação dos solos, águas superficiais e subterrâneas, acúmulo de gases, poluição do ar e proliferação de doenças e vetores. Tais impactos constituem-se como passivos ambientais, definidos pela manifestação física do dano ambiental (Sánchez, 2006), resultante de atividades e empreendimentos que liberem substâncias e concentrações nocivas ao meio biótico e abiótico, bem

como promovam a descaracterização de sua estrutura. Esses passivos representam sérios desafios para a gestão ambiental municipal, pois persistem no ambiente mesmo após o encerramento e desativação das atividades geradoras do dano.

A Política Nacional do Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, coloca a recuperação de áreas degradadas e, conseqüentemente, de passivos ambientais, como um de seus princípios norteadores, sendo um objetivo a ser atingido pelos municípios brasileiros. Nesse contexto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) - Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), tem como um de seus objetivos a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, colocando como obrigação da União, Estados e municípios o estabelecimento de metas para a eliminação e recuperação de lixões, associadas à inclusão social e à emancipação econômica de catadores de materiais recicláveis e reutilizáveis. O encerramento e a recuperação de lixões também é uma ação necessária para o atingimento, em nível nacional, estadual e municipal, dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU), com destaque para os ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e ODS 15 (Vida Terrestre).

Em cumprimento ao estabelecido pela PNRS, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2020) coloca como meta a eliminação das práticas de disposição final inadequada e encerramento de todos os lixões e aterros controlados no Brasil até 2024, que atualmente contabilizam mais de 3.000 áreas em operação. Além disso, existem, na maioria dos municípios brasileiros, antigas áreas de disposição irregular de resíduos, que, apesar de se encontrarem com a operação finalizada, não foram corretamente encerrados, sendo objeto de ações dos órgãos ambientais e Ministério Público junto aos municípios, para regularização de sua situação ambiental.

Em 2019, foi lançado, pelo Governo Federal, o Programa Nacional Lixão Zero (MMA, 2019), que tem por objetivo encerrar os lixões e os aterros controlados no Brasil, ampliar a coleta seletiva e a reciclagem de resíduos secos e orgânicos, recuperar áreas contaminadas, implementar e expandir sistema de logística reversa e aproveitar o potencial energético dos resíduos. Porém, atualmente não existe uma metodologia consolidada a nível nacional para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados, o que resulta em dificuldades técnicas para os municípios na execução das ações necessárias para o correto encerramento dessas áreas, de forma adequada dos pontos de vista ambiental, social e econômico, bem como para a aprovação pelos órgãos ambientais competentes.

Dessa forma, o objetivo do presente artigo é a proposição de uma metodologia de encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados, aplicável às diversas realidades existentes no Brasil. Tal metodologia se baseia em legislações, documentos e orientações técnicas produzidas por órgãos nacionais e internacionais referentes a diferentes etapas do processo de encerramento, bem como na experiência do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) no apoio aos municípios paulistas para o encerramento de áreas de antigos lixões e aterros controlados nos últimos 10 anos, por meio do Programa de Apoio Tecnológico aos Municípios (PATEM) do Governo de Estado de São Paulo. Este trabalho visa, também, o atendimento à Diretriz 1A (Estratégia 2), do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2020), com a definição de orientações técnicas e procedimentos para o encerramento de lixões e aterros controlados no Brasil.

2 Procedimento metodológico

A proposta de metodologia para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados foi elaborada a partir das seguintes etapas: avaliação de manuais e metodologias existentes no Brasil, referentes a diferentes etapas do processo de encerramento de lixões e aterros controlados; avaliação das normas e documentos técnicos produzidos por órgãos ambientais a nível federal e estadual; e análise da metodologia e resultados obtidos nas experiências do IPT em projetos de encerramento de antigos lixões e aterros controlados no Estado de São Paulo.

Para a análise das normas, documentos técnicos, manuais e metodologias existentes no Brasil sobre o encerramento de lixões, foi realizada busca nos websites de órgãos ambientais a nível estadual e federal, como o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) de Minas Gerais. Destacam-se os materiais produzidos pela CETESB, que apresentam os requisitos para o encerramento de áreas de antigos lixões e aterros sanitários nos municípios paulistas, analisados a partir de consulta a processos jurídicos disponíveis nas agências do órgão ambiental em todo o Estado.

Foram também consultados materiais produzidos por associações e organizações nacionais e internacionais que atuam no setor de resíduos sólidos, como a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Urbana (ABRELPE) e a Associação Internacional de Resíduos Sólidos (International Solid Waste Association - ISWA). Dentre os documentos técnicos, manuais e metodologias produzidos por órgãos públicos e entes privados, foram selecionados os seguintes para análise:

- Caderno Técnico de Reabilitação de Áreas Degradadas por Resíduos Sólidos Urbanos (FEAM, 2010);
- Saúde desperdiçada: o caso dos lixões (ISWA/ABRELPE, 2015);
- Roteiro para encerramento de lixões - os lugares mais poluídos do mundo (ISWA/ABRELPE, 2017);
- Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2020);
- Roteiro para elaboração de estudos de investigação de contaminação em áreas de deposição de resíduos sólidos urbanos (CETESB, 2019);
- Procedimento para investigação de passivos ambientais em áreas de destinação final de resíduos sólidos urbanos (CETESB, s.d.); e
- Roteiro de projeto de encerramento e recuperação do antigo lixão (CETESB, s.d.).

Para a elaboração da proposta metodológica de encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados, foi utilizada como base a metodologia utilizada pelo IPT em projetos de encerramento de antigos lixões no Estado de São Paulo, realizados nos últimos dez anos nos seguintes municípios: Itapira, Bauru, Capivari, Mairinque, Santana de Parnaíba, Holambra, Cananéia, Miracatu, São Ber-

nardo do Campo e Diadema. Essa metodologia foi construída com base nos procedimentos exigidos pela CETESB para investigação de passivos ambientais em áreas de destinação de resíduos sólidos, bem como nas normas e procedimentos de gerenciamento de áreas contaminadas no Brasil (definidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA) e Estado de São Paulo (definidas pela CETESB), com adaptações para as particularidades apresentadas por áreas de antigos lixões.

A metodologia utilizada pelo IPT contempla duas principais etapas: investigação ambiental da área e plano de encerramento. A investigação ambiental é baseada nas etapas de avaliação preliminar, investigação confirmatória, investigação detalhada e avaliação de risco, desenvolvidas no processo de avaliação de áreas contaminadas. O plano de encerramento contempla as ações necessárias para o correto encerramento e recuperação da área a um uso pretendido, incluindo um plano de intervenção, que contempla as medidas necessárias para a eliminação ou redução dos riscos apresentados pelo lixão ou aterro controlado.

Nesse ponto, existe uma diferenciação nos procedimentos para recuperação de áreas contaminadas por disposição de resíduos e áreas contaminadas por outras atividades, pois, no primeiro caso, não é possível realizar a remoção ou remediação da fonte de contaminação, sendo necessário que as intervenções sejam realizadas para limitar as vias de exposição de potenciais receptores. Dessa forma, o foco da remediação em áreas de disposição de resíduos sólidos será em medidas de contenção e/ou tratamento das plumas de contaminação.

A metodologia desenvolvida e aplicada pelo IPT foi baseada primariamente na avaliação e recuperação de áreas com operação já encerrada, sendo, então, complementada com as informações presentes nas metodologias selecionadas para análise, apresentadas anteriormente, principalmente no que diz respeito ao tratamento das questões sociais envolvidas no encerramento e recuperação de lixões ainda em operação.

3 Resultados e discussão

3.1. Análise das metodologias existentes para o encerramento de lixões e aterros controlados

As metodologias existentes encontradas sobre o encerramento de lixões e aterros controlados podem ser divididas em dois grupos: aquelas desenvolvidas e publicadas por órgãos ambientais em nível federal e estadual, no caso, o Ministério do Meio Ambiente, a FEAM e a CETESB, e aquelas publicadas por associações relacionadas à gestão de resíduos, sendo identificados materiais produzidos pela ABRELPE, em parceria com a ISWA. Essas metodologias foram analisadas em relação à criação de um procedimento a ser seguido pelos municípios no processo de encerramento de lixões e aterros controlados, considerando critérios técnicos, sociais e ambientais.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2020), que traz como meta a eliminação dos lixões e aterros controlados no Brasil até 2024, estabelece que o encerramento dessas áreas compreende, no mínimo, as seguintes ações: cercamento da área; drenagem pluvial; conformação do maciço; cobertura com solo e cobertura vegetal; sistema de vigilância; e realocação das pessoas e edificações que porventura se localizem dentro da área do lixão e aterro controlado. Não são apresentados procedimentos ou métodos para a realização dessas ações, sendo a criação de orientações técnicas e procedimentos para o encerramento das referidas áreas uma das diretrizes estabelecidas pelo Plano.

O Caderno Técnico de Reabilitação de Áreas Degradadas por Resíduos Sólidos Urbanos, produzido pela FEAM (2010), define os lixões como uma forma de disposição de resíduos por simples descarga sobre o solo, sem critérios técnicos ou medidas de proteção ao meio ambiente e à saúde pública, enquanto nos aterros controlados é realizado o confinamento dos resíduos, sem a realização de impermeabilização de base, porém, por vezes, com algum tipo de intervenção técnica. Estes podem ou não apresentar sistema de drenagem e tratamento de lixiviados e sistema de extração e queima de gases.

A FEAM (2010) apresenta algumas técnicas indicadas para a desativação, adequação e recuperação de áreas de disposição inadequada de resíduos, sendo estas a remoção dos resíduos, recuperação simples, recuperação parcial, adequação temporária como aterro controlado e recuperação como aterro sanitário. A remoção dos resíduos apenas faz sentido em casos de áreas de risco geológico e geotécnico, sendo uma alternativa de alto custo e, na maior parte das vezes, tecnicamente inviável. Para os outros tipos de recuperação, são apresentados os critérios mínimos que devem ser atendidos para a escolha de cada um deles, apresentando restrições de acordo com o contexto em que as áreas estão inseridas, considerando suas características intrínsecas e aspectos socioambientais do entorno.

São apresentadas, também, as medidas mínimas que os projetos conceituais e executivos de recuperação das áreas devem conter, destacando que as medidas de engenharia e controle ambiental devem fazer parte de um Plano de Reabilitação de Área Degradada por Lixão, elaborado por profissional habilitado, com conteúdo mínimo de informações a serem apresentadas. O Caderno traz, ainda, os possíveis usos futuros após a recuperação dos lixões e aterros controlados, que devem ser definidos com base nos estudos realizados e aptidão das áreas. É colocada a possibilidade de utilização para implantação de áreas verdes, com equipamentos comunitários, bem como pequenas construções, devendo ser integrados à paisagem do entorno e às necessidades da comunidade local.

O documento produzido por ISWA/ABRELPE (2015) apresenta as diferenciações entre os lixões, aterros controlados e aterros sanitários, considerando critérios como local de instalação, capacidade, preparação do local e das células, cobertura de solo, gestão de gases e lixiviados, questões de isolamento e acesso e impactos sobre a saúde e meio ambiente. O foco desse material é apresentar os riscos e impactos à saúde causados pelos lixões, considerando os tipos de resíduos ali dispostos e as contaminações geradas. Não são apresentados critérios ou metodologia para o encerramento das áreas de disposição inadequada de resíduos, porém, o documento traz uma discussão interessante sobre os custos ambientais e sociais dos lixões no Brasil, tendo sido calculados na faixa de US\$ 3,25 bilhões a US\$ 6,65 bilhões em 2015.

O Roteiro para encerramento de lixões (ISWA/ABRELPE, 2017) se trata de uma adaptação do documento produzido por ISWA (2016), denominado "A Roadmap for closing waste dumpsites: the world's most polluted places". O documento apresenta três aspectos contextuais principais que devem ser considerados no processo de encerramento de lixões, que são os elementos físicos (sistema e infraestrutura de acondicionamento, coleta, transporte, transferência, reciclagem, recuperação, tratamento e disposição dos resíduos), atores envolvidos (setor público, geradores de resíduos, fabricantes, sociedade civil, ONGs e agências internacionais) e aspectos estratégicos (políticos, de saúde, institucionais, sociais, econômicos, financeiros, ambientais e técnicos).

O roteiro da ISWA/ABRELPE (2017) apresenta os benefícios, desafios e riscos envolvidos no encerramento de lixões, destacando a importância da análise e envolvimento dos principais atores relacionados ao processo, principalmente do setor informal (catadores de materiais recicláveis), sugerindo a construção de Planos de Inclusão do Reciclador Informal. Além disso, a governança é colocada como chave nesse processo, sendo necessária a criação de um ambiente institucional propício para o encerramento e recuperação dos lixões. Esse ambiente envolve aspectos estratégicos, como a elaboração dos planos e políticas de resíduos sólidos; aspectos de regulação, com a aprovação de legislações relacionadas ao tema; aspectos de desenvolvimento de recursos humanos e estruturação de departamentos de gestão de resíduos nas administrações municipais; e aspectos de regionalização, com a implantação de soluções consorciadas entre os municípios para a gestão de resíduos.

O documento de ISWA/ABRELPE (2017) ainda indica três métodos principais para o encerramento de lixões: encerramento com adequação para aterro controlado, encerramento com cobertura dos resíduos existentes e encerramento com remoção dos resíduos. Coloca também as melhorias imediatas que devem ser implementadas nas áreas de lixões, como medidas de proteção à saúde (controlar e registrar os resíduos recebidos, cessar a queima a céu aberto, instalar cercamento e realizar a cobertura diária dos resíduos), de redução de impactos ambientais (medidas de gestão de chorume e gases) e de preparação do novo sistema (implantação de coleta seletiva e melhoria da estrutura de coleta, transporte e destinação). Por fim, é indicado que o sistema de cobertura de resíduos é o item mínimo a ser contemplado no plano de encerramento, sendo apresentados, ainda, critérios para a seleção de novos locais para aterros sanitários.

Com relação aos procedimentos exigidos pela CETESB para a investigação e recuperação de áreas de destinação inadequadas de resíduos, estes incluem as diretrizes para a investigação ambiental e o conteúdo mínimo do projeto de encerramento e recuperação. A investigação ambiental deve contemplar, minimamente, as etapas de avaliação preliminar e investigação confirmatória do processo de gerenciamento de áreas contaminadas, sendo apresentadas as atividades a serem desenvolvidas, instruções para a definição da rede de monitoramento e análise da qualidade do solo, água subterrânea e superficial e avaliação de gases, bem como as ações a serem desenvolvidas ao final do processo de investigação.

O roteiro para o plano de encerramento apresenta os itens mínimos a serem contemplados do projeto de encerramento e recuperação das áreas, como o levantamento topográfico, reconformação geométrica do maciço, sistemas de drenagem de águas pluviais e gases, isolamento visual e cobertura vegetal, proposta de uso futuro, entre outros. Além disso, inclui também os passos necessários

caso a área seja classificada como contaminada, incluindo a realização de investigação detalhada, avaliação de risco à saúde humana e implantação de medidas de intervenção.

Dentre os documentos analisados, aqueles que apresentam metodologias para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados são aqueles apresentados por FEAM (2010) e CETESB (2019; s.d.), que abordam as ações técnicas a serem desenvolvidas pelos municípios para a investigação ambiental e recuperação dessas áreas. Os demais materiais tratam de outros aspectos relacionados ao processo de encerramento, também importantes, como a construção de um ambiente institucional e de governança e tratamento das questões sociais associadas à existência dos lixões e aterros controlados. Assim, para a construção da metodologia no presente trabalho, priorizaram-se as informações apresentadas pelos órgãos ambientais de São Paulo e Minas Gerais, sendo complementadas com indicações de ISWA/ABRELPE (2017) no tratamento das questões sociais e institucionais.

3.2. Proposta metodológica de encerramento e recuperação de áreas de lixões e aterros controlados

Como colocado por FEAM (2010), apenas o cessamento da disposição de resíduos, fechamento e abandono das áreas de lixões e aterros controlados não é suficiente para promover o correto encerramento dessas áreas, sendo necessária a realização de ações para investigação e mitigação dos impactos socioambientais gerados e recuperação para um uso pretendido. A proposta metodológica desenvolvida para o encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados inclui cinco etapas: desativação da área, levantamento de dados de uso e ocupação atual e histórica, caracterização ambiental e geotécnica, estudos complementares e projeto de encerramento (Figura 1)

Figura 1 - Estrutura da proposta metodológica de encerramento e recuperação de lixões e aterros controlados



Fonte: elaborado pelos autores

A etapa de desativação da área é o primeiro passo para o encerramento de um lixão ou aterro controlado em operação. Esta inclui a avaliação de novas alternativas para a disposição dos resíduos, bem como o tratamento das questões sociais caso haja presença de catadores ou residentes na área. Com relação à busca de novas alternativas para a disposição de resíduos, pode ser realizada a seleção de uma nova área para implantação de aterro sanitário, que envolve uma série de atividades, como a avaliação das características hidrogeológicas, geográficas e geotécnicas adequadas ao uso pretendido; a análise da legislação ambiental com respeito às distâncias mínimas estabelecidas com relação às áreas de interesse urbano; a caracterização socioeconômica, de uso e ocupação do local e entorno, bem como dos acessos existentes; a avaliação de critérios econômicos, financeiros, políticos e sociais; entre outros.

Caso o município não tenha condições financeiras ou área disponível para a implantação de aterro sanitário, uma opção encorajada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos e Plano Nacional de Resíduos Sólidos é a construção de soluções consorciadas entre municípios de uma mesma região, para uso de estruturas de tratamento e disposição de resíduos já existente em outros municípios, bem como para implantação de aterros sanitários e outros tipos de estruturas de tratamento e recuperação de resíduos, como centrais de triagem de recicláveis e centrais de compostagem. Após a seleção de nova área para a destinação dos resíduos, o passo seguinte é o encerramento da disposição dos resíduos na área do lixão ou aterro controlado, passando-se para as ações de investigação e recuperação.

Caso haja a presença de catadores e residentes na área de disposição de resíduos, deve-se estruturar um sistema de apoio à inclusão desses trabalhadores no mercado, com a integração do setor informal, na constituição e estruturação de cooperativas de reciclagem, bem como a realocação das pessoas para áreas de moradia adequadas. O tratamento das questões sociais envolvidas é um dos principais desafios do encerramento de áreas de disposição inadequada de resíduos, pois constituem um elo bastante sensível na cadeia de gestão de resíduos, requerendo um esforço do poder público do ponto de vista da implementação de políticas públicas e ações de inclusão social, habitação e inserção no mercado formal de trabalho. Recomenda-se, no caso, a elaboração e implantação do Plano de Inclusão do Reciclador, como indicado por ISWA/ABRELPE (2017).

Após a realocação dos trabalhadores e residentes, passa-se para a etapa de investigação ambiental e início do processo de recuperação dos lixões e aterros controlados. No caso de áreas com operação já suspensa, essa é a primeira etapa do processo para o correto encerramento das mesmas. Um dos desafios nesse processo é a compreensão da extensão do impacto ambiental gerado por essas áreas e a estabilidade dos maciços de resíduos, do ponto de vista da engenharia. A construção do conhecimento sobre a área segue uma sequência de atividades, partindo do levantamento de documentos e registros de uso e ocupação atual e histórica, passando por visitas técnicas e métodos não invasivos de investigação, até a coleta expedita e caracterização de amostras. Essas etapas permitem o refinamento do nível de informação sobre a área de interesse, de forma a se estruturar um plano de encerramento capaz de abranger todas as necessidades técnicas e legais envolvidas.

Desta maneira, a obtenção e a construção do banco de informações da área de interesse são progressivas, permitindo que as tomadas de decisões sejam realizadas de forma objetiva, assertiva e subsidiada por um volume suficiente de dados. Muitos dos conceitos aplicados são os mesmos

preconizados pelo gerenciamento de áreas contaminadas, sendo realizadas adaptações de acordo com a necessidade do estudo. Isso porque tanto o processo de investigação de áreas de disposição de resíduos quanto o de investigação de áreas contaminadas por outras fontes visam identificar e caracterizar o passivo existente em uma região, com o objetivo de implementar as medidas de intervenção necessárias para viabilizar o seu uso de forma segura.

A etapa de levantamento de dados contempla a obtenção de dados de diversas fontes, sejam registros municipais, órgãos fiscalizadores, empresas prestadoras de serviços. O objetivo é remontar o histórico de uso e ocupação da área por meio de documentos e materiais que indiquem, por exemplo, o tipo de operação praticada, tipo de material recebido, volumes, locais utilizados para a deposição e o uso e ocupação do entorno. As fontes de informação podem ser processos ambientais, entrevistas com antigos funcionários e vizinhança (se existente), documentos das Prefeituras, entre outros. Podem ser aplicadas também ferramentas de geoprocessamento para a interpretação de levantamentos aerofotogramétricos e imagens de satélite históricas, possibilitando o mapeamento das alterações do uso e ocupação locais e regionais ao longo do tempo.

Uma das atividades imprescindíveis é a visita de inspeção da área, geralmente realizada por uma equipe multidisciplinar, onde serão avaliados os aspectos técnicos, legais e ambientais atuais do local. Durante a inspeção são avaliados diversos aspectos, como localização, isolamento físico e visual, cobertura do solo, situação de drenagens e taludes (se existentes), potenciais surgências de chorume, evidências de deposições irregulares de resíduos (pretéritas ou atuais), morfologia do terreno, evidências da presença de chorume e gases, além da presença de pessoas ou animais. São avaliados, também, fatores do entorno, como a presença de potenciais receptores (corpos d'água, locais de produção agrícola, residências), permitindo o entendimento de como o passivo ambiental proveniente da disposição de resíduos pode afetar o meio socioambiental em que o lixão ou aterro controlado está inserido.

Um documento que pode auxiliar no processo de levantamento de dados é a norma NBR 15515-1 (ABNT, 2007), que apresenta, de forma detalhada, instruções para o levantamento de dados primários e secundários sobre áreas sob investigação de contaminação, trazendo, em seu Anexo B, um modelo de ficha técnica que auxilia a sistematização e organização das informações sobre a área de interesse.

Na etapa de caracterização ambiental e geotécnica, é montado um plano de investigação e amostragem de solo, água subterrânea e água superficial, baseado nas informações obtidas na etapa anterior, que irá nortear a definição dos pontos de amostragem, monitoramento e de ensaios de campo (ABNT, 2011). Para o entendimento inicial da distribuição da deposição de resíduos, bem como de pontos de acúmulo de gases e chorume, podem ser utilizados métodos não invasivos de investigação, como os métodos geofísicos. Os ensaios geofísicos (principalmente por métodos elétricos) permitem o mapeamento de forma indireta da extensão da área de deposição de resíduos (ABNT, 2011a), sendo utilizados para o refinamento do plano de investigação.

Outra forma de delimitar a extensão da massa de resíduos (nos casos em que estes estão cobertos com solo), bem como de investigar os tipos de resíduos dispostos em determinada área, quando essas informações não estiverem disponíveis em fontes secundárias, é o processo de caracterização

da composição gravimétrica dos resíduos na área. Para tal, são abertas trincheiras, procedendo-se a amostragem dos resíduos de acordo com a norma NBR 10.007 (ABNT, 2004). Esse processo permite avaliar a extensão e profundidade de deposição, tipos de materiais dispostos, potencial de geração de metano a partir da avaliação da quantidade de matéria orgânica presente, entre outros.

Para a caracterização do meio físico, devem ser realizadas sondagens para caracterização, amostragem e análises físico-químicas do solo (ABNT, 2007a); instalação de poços de monitoramento de água subterrânea (ABNT, 2007b; ABNT, 2008) com campanhas de amostragem para avaliação de qualidade da água (ABNT, 2010) e instalação de poços de gases, mapeando e monitorando os principais pontos de acumulação de metano. Em locais com presença de corpos hídricos, também são avaliados potenciais descargas de líquidos percolados oriundas da massa de resíduos, por meio de amostragem de águas superficiais (ABNT, 1987).

Para a avaliação da contaminação do solo e água subterrânea, são utilizados os valores de referência de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009 (CONAMA, 2009) e, no caso do Estado de São Paulo, pela Decisão de Diretoria nº 256/2016/E (CETESB, 2016). Para a avaliação de contaminações na água superficial, são utilizados os parâmetros e valores máximos permitidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2021) e pela Resolução CONAMA nº 430/2011 (CONAMA, 2011).

Os métodos aplicados para o monitoramento geotécnico são mais dependentes da tipologia e características morfológicas da massa de resíduos e da região do entorno. Devem ser avaliadas questões como alteamento, inclinação de taludes, drenagens, declives, nível d'água, bolsões de gases, espessuras de camadas de deposição, compactação e solo de cobertura, fatores estes, que influenciam diretamente nos ensaios de campo e análises necessárias. Os principais ensaios de campo realizados são o levantamento topográfico (ABNT, 1994), para o mapeamento das geoformas da área, instalação de piezômetros, para monitoramento da variação do nível d'água e os ensaios de penetração, para a caracterização geotécnica do meio físico. Esses últimos incluem ensaios de simples reconhecimento (ABNT, 2001), de penetração de piezocone in situ (CPTu) e instalação de piezômetros, para monitoramento da variação do nível d'água dentro da massa de resíduos.

A etapa de estudos complementares é utilizada para a complementação de informações, caso os dados levantados não tenham sido suficientes para a completa abordagem do problema. Como os estudos usualmente estão ligados a áreas com poucas informações disponíveis, a delimitação das extensões dos impactos gerados, principalmente associados à contaminação do solo e água subterrânea, representam um desafio técnico significativo. Com base nos dados obtidos na etapa de caracterização ambiental e geotécnica, é elaborado um plano de investigação complementar, de forma a eliminar lacunas, como no caso de plumas de contaminação não delimitadas (ABNT, 2013a).

Outra análise ambiental realizada nesta etapa é a avaliação de risco à saúde humana (ABNT, 2013b), em que os parâmetros analíticos que apresentarem concentrações acima dos valores orientadores de referência (CONAMA, 2009; CETESB, 2016) são avaliados quanto à sua capacidade de apresentar risco a potenciais receptores na área e entorno, sendo determinados os valores máximos aceitáveis para as substâncias químicas de interesse (SQI).

A etapa de estudos complementares também está reservada para a resolução de questões administrativas, visto que o processo de encerramento pode apresentar conflitos, como questões legais de propriedades, ocupações irregulares, processos ambientais e termos de ajuste de conduta (TAC). Tais situações externas podem influenciar o andamento dos trabalhos, afetando diretamente a evolução do processo de encerramento, tanto em relação à realização de atividades que dependem da liberação de terceiros (como sondagens e amostragens em áreas privadas), quanto na proposição e definição dos usos futuros possíveis para o local.

Os resultados da investigação ambiental e geotécnica servirão de base para a construção do plano e projeto de encerramento dos lixões e aterros controlados. A caracterização socioambiental das áreas e entorno e os objetivos de utilização futura são utilizados na definição das ações de recuperação, consistindo na etapa final do processo de encerramento.

O plano de encerramento possui dois objetivos bem definidos. O primeiro é a adequação da área do ponto de vista legal, para garantir que o passivo ambiental identificado não gere risco à saúde humana. Para tal, devem ser realizadas intervenções como a reconformação e recobrimento da massa de resíduos; ajustes de taludes para garantir a estabilidade; instalação de pontos de extração de gases; instalação de sistema de drenagem e coleta de líquidos percolados; tratamento de plumas de contaminação; instalação de marcos de monitoramento geotécnico; isolamento físico e visual; e revegetação da área. O segundo objetivo é a garantia, do ponto de vista de engenharia, de que a área possua as características necessárias para que implementações de estruturas futuras sejam realizadas, no caso destas serem previstas para o uso futuro pretendido, podendo ser necessários ensaios para obtenção de dados para elaboração de projetos executivos.

O plano de encerramento também inclui a definição dos usos futuros para as áreas de disposição inadequada de resíduos. Tais usos guiarão as ações a serem implementadas para a recuperação das áreas, considerando o objetivo de utilização pretendido. Para a avaliação dos usos futuros possíveis, deve ser considerado como base o conceito de recuperação ambiental, definido pela "aplicação de técnicas de manejo visando tornar um ambiente degradado apto para um novo uso produtivo, desde que sustentável" (Sánchez, 2006, p.41). Os objetivos de usos futuros podem ser definidos a partir da caracterização do passivo ambiental e a viabilidade da recuperação dependerá da complexidade do passivo, da vulnerabilidade do meio em que este se insere e do tipo de uso pretendido.

De acordo com Bouazza e Kavazanjian Jr. (2001), os projetos de recuperação de antigos aterros ou lixões podem incluir usos futuros classificados como pesados (hard uses) ou leves (soft uses). Os usos pesados incluem a construção de edificações, vias e desenvolvimento de infraestrutura, que necessitam de fundações, enquanto os usos leves, mais indicados, incluem instalações recreativas (parques, campos de atletismo, campos de golfe) e anfiteatros. A definição do uso futuro da área é uma atividade que envolve não somente as questões técnicas, mas questões públicas administrativas e de interesse social. Áreas onde existem conflitos sociais de ocupação são particularmente mais sensíveis, visto que a remoção de pessoas residentes no local não é suficiente, sendo necessário o início das intervenções para a revitalização do local, evitando assim, que processos de reocupação aconteçam, gerando um retrocesso em todo o processo de recuperação do local.

A criação de espaços públicos de recreação é uma forma de agregar valor e reverter o impacto gerado em benefícios para a sociedade. Um caso de sucesso é a revitalização da área onde foi construído o parque estadual Villa-Lobos, que até a década de 80 era utilizado como área de deposição de resíduos e de ocupações irregulares, sendo a área recuperada e inaugurada em 1994 como parque, sendo hoje, um dos principais espaços públicos de recreação da região oeste da cidade de São Paulo. Como destacado por FEAM (2010), no processo de definição dos usos futuros, é essencial levar em consideração os anseios e necessidades da comunidade do entorno, devendo haver a participação de seus representantes na tomada de decisão.

4 Conclusões

A metodologia de encerramento de lixões e aterros controlados apresentada pretende servir como um instrumento para apoiar e orientar os municípios no atingimento das metas e objetivos estaduais e nacionais estabelecidos, podendo ser aplicada às diversas realidades existentes no Brasil. Considera-se, ainda, a importância do tema, visto que a gestão adequada de resíduos é um grande desafio cujo desempenho é influenciado por dimensões técnicas, ambientais, financeiras, institucionais, socioculturais e políticas.

Dentre os diversos documentos analisados foi possível identificar aqueles que abordam as ações técnicas a serem desenvolvidas pelos municípios para a investigação ambiental e recuperação dessas áreas e também materiais que tratam de outros aspectos, como a construção de um ambiente institucional e de governança e tratamento das questões sociais associadas à existência dos lixões e aterros controlados. Observou-se, ainda, que há a necessidade de um material que sirva como passo a passo e que busque orientar e guiar os municípios na realização e/ou contratação desses estudos.

A proposta metodológica desenvolvida teve por objetivo atender às diferentes realidades dos municípios, podendo ser adaptada de acordo com as características intrínsecas de cada área de estudo. As cinco etapas propostas são progressivas, permitindo que as tomadas de decisões sejam realizadas de forma objetiva, assertiva e subsidiada por um volume suficiente de dados, de forma a viabilizar a recuperação das áreas de lixões e aterros controlados para um novo uso pretendido, de forma segura e integrada ao contexto local.

Destaca-se que o encerramento e a recuperação de lixões e aterros controlados são grandes desafios para os municípios brasileiros, do ponto de vista técnico, financeiro, institucional, social e ambiental. Espera-se que esta proposta metodológica contribua na definição de orientações técnicas e de procedimentos para o encerramento de lixões e aterros controlados no Brasil, para apoio aos municípios no planejamento e viabilização das ações de recuperação ambiental dessas áreas, bem como no avanço do atingimento dos ODS nos níveis federal, estadual e municipal.

5 Agradecimentos

À Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SDE), por meio do Programa de Apoio Tecnológico aos Municípios (PATEM), que tem financiado projetos de avaliação e recuperação de antigos lixões e aterros controlados no Estado de São Paulo.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 9898 – Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 22 p. 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 13133 – Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 35 p. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6484 – Solo - Sondagens de simples reconhecimento com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 17 p. 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15515-1 – Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 1 – Investigação Preliminar. Rio de Janeiro, 47 p. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15492 – Sondagem de reconhecimento para fins de qualidade ambiental – Procedimento. Rio de Janeiro, 31 p. 2007a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15495-1 – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 1 – Projeto e construção. Rio de Janeiro, 25 p. 2007b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15495-2 – Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares. Parte 2 – Desenvolvimento. Rio de Janeiro, 24 p. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15847 – Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento – Método de purga. Rio de Janeiro, 15 p. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15515-2 – Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 2 – Investigação Confirmatória. Rio de Janeiro, 19 p. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15935 - Investigações ambientais - Aplicações de métodos geofísicos. Rio de Janeiro, 22 p. 2011a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15515-3 - Avaliação de passivo ambiental em solo e água subterrânea. Parte 3 - Investigação Detalhada. Rio de Janeiro, 18 p. 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 16209 - Avaliação de risco a saúde humana para fins de gerenciamento de áreas contaminadas. Rio de Janeiro, 40 p. 2013b.

BOUAZZA, A.; KAVAZANJIAN JR, E. Construction of former landfills. In: Environmental Geotechnics: 2nd Australia and New Zealand Conference on Environmental Geotechnics - GeoEnvironment. Proceedings... GeoEnvironment, 2001. P. 467-482.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 03 de agosto de 2010, p. 02.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Decisão de Diretoria nº 256/2016/E, de 22 de novembro de 2016: Dispõe sobre a aprovação dos "Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo - 2016" e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, nº 126, 24/11/2016, p. 55 e 56.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Roteiro para elaboração de estudos de investigação de contaminação em áreas de deposição de resíduos sólidos urbanos. São Paulo: CETESB, 2019. Disponível em: https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/ckfinder/files/6_Estudo%20residuos%20solidos%20urbanos.pdf. Acesso em 28 ago. 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Procedimento para investigação de passivos ambientais em áreas de destinação final de resíduos sólidos urbanos. São Paulo: CETESB, s.d.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. Roteiro de projeto de encerramento e recuperação do antigo lixão. São Paulo: CETESB, s.d.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009: Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, nº249, 30/12/2009, p. 81-84.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União**, nº 92, 16 de maio de 2011, p. 89.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. Caderno técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos. Belo Horizonte: FEAM, 2010.

INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION/ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA – ISWA/ABRELPE. Saúde desperdiçada: o caso dos lixões. ISWA/ABRELPE, 2015.

INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION/ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA – ISWA/ABRELPE. Roteiro para encerramento de lixões: os lugares mais poluídos do mundo. ISWA/ABRELPE, 2017.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021: Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, 07 de maio de 2021, seção 1, p. 127.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Programa Nacional Lixão Zero. Brasília: MMA, 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: MMA, 2020.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos - 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020.

10.34033/2526-5830-v5n18-1



Artigo técnico

Potencial de emissão de bifenilas polibromadas (PBBs) e difenis éteres polibromados (PBDEs) das Indústrias Brasileiras de Eletroeletrônicos.

Emission potential of polybrominated biphenyls (PBBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) from the Brazilian Electronics Industry.

João Paulo Amorim de Lacerda^{a*}, Jamille Moreira Moraes^a, Jeferson Pereira de Oliveira^{ab}

^a Laboratório de Química e Manufaturados, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. São Paulo-SP, Brasil.

^b Egresso do IPT – Mestrado Profissional Habitação: Planejamento e Tecnologia

E-mail: jpaulo@ipt.br

Palavras-chave:

bifenilas polibromadas;
difenis éteres polibromados;
eletroeletrônicos; diretiva RoHS;
retardantes de chama.

Keywords:

*polybrominated biphenyls;
polybrominated diphenyl ethers;
electro electronics; RoHS
directive; flame retardants.*

Resumo

As bifenilas polibromadas (PBBs) e os difenis éteres polibromados (PBDEs) são substâncias químicas que foram largamente utilizadas como retardantes de chamas em materiais poliméricos aplicados na indústria de eletroeletrônicos em todo o mundo. O Brasil, no entanto, nunca produziu ou importou essas substâncias para serem utilizadas nos produtos fabricados internamente. As mais de 7000 análises executadas pelo Laboratório de Química e Manufaturados do Instituto de Pesquisas Tecnológicas realizadas dentro do escopo da diretiva RoHS, mostram um índice de não conformidade baixíssimo para a presença desses compostos nos produtos exportados pelo Brasil e, portanto, de emissão deles para o meio ambiente pela indústria nacional. Por outro lado, a detecção recorrente desses e de outros retardantes de chama polibromados em matrizes ambientais no Brasil indica que há a entrada dessas substâncias por meio de produtos importados, que não passam pelo mesmo crivo de barreiras técnicas como os produtos nacionais.

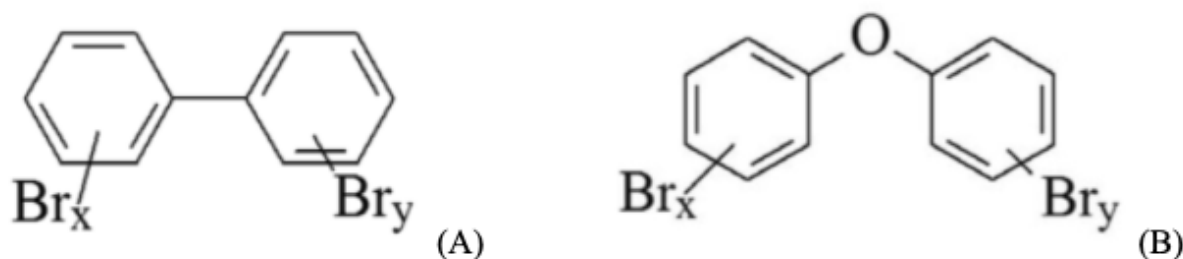
Abstract

Polybrominated biphenyls (PBBs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) are chemicals that were largely used as flame retardants in polymeric materials for the electro electronic industry worldwide. However, Brazil has never produced nor imported those substances to be used in the products manufactured in the country. The over 7,000 analyzes conducted by the Laboratory of Chemistry and Manufactured Products of the Institute for Technological Research, within the scope of the RoHS directive, showed a very low non-compliant index for the presence of PBBs/PBDEs in the products exported by Brazil and, therefore, the low emission of those compounds for the environment by the national industry. In the other hand, the recurrent detection of those and some new flame retardants in environmental matrices in Brazil, points to the intake of those substances from outer sources, such as imported products which does not pass through the same technical barriers as the Brazilian products.

1 Introdução

As bifenilas polibromadas (polybrominated byphenyls, PBBs) e os difenis-éteres polibromados (polybrominated diphenyl ethers, PBDEs) são compostos químicos aromáticos formados por dois anéis de benzeno ligados entre si diretamente ou por uma ponte éter, que podem possuir de um a dez átomos de bromo na molécula, apresentando estruturas semelhantes à da Figura 1 (CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2006). São conhecidos como retardantes de chamas por apresentarem características físico-químicas que permitem o uso para esse fim, como a capacidade de se degradar antes da matriz polimérica na etapa de pirólise da combustão, promovendo o retardo da ignição e da propagação de chamas (ALAE et al, 2003; ANNUNCIACÃO, 2018). Nesse sentido, quanto maior o peso molecular (ou o número de átomos de bromo na molécula), melhor o desempenho antichama. Essas substâncias foram intensamente utilizadas pelas indústrias de polímeros e de materiais eletroeletrônicos, principalmente por serem mais baratos que outros retardantes de chamas (como os compostos organofosforados e inorgânicos), sendo aplicados em larga escala em utensílios e equipamentos de uso diário, como eletroeletrônicos, artigos têxteis, equipamentos automobilísticos, na construção civil e em menor extensão em adesivos, selantes e revestimentos. (JANSESEN, 2005; PAZIN et. al, 2015).

Figura 1 - Estrutura química dos PBBs (A) e PBDEs (B).



Fonte: adaptado de PIERONI et al, 2017.

No mundo, pouco se utilizou as bifenilas polibromadas (PBBs) em produtos eletroeletrônicos, sendo que no auge do consumo a demanda por essas substâncias foi de apenas 1 % da venda de compostos retardantes de chamas, o que culminou na descontinuação progressiva da produção desses compostos nos EUA e Europa até o final dos anos 2000 (PIERONI et al, 2017). Já os PBDEs existem na forma de três misturas comerciais: penta-BDE (mistura de penta, tetra e hexa-BDE), octa-BDE (composto principalmente por hepta, octa e hexa-BDE) e deca-BDE (basicamente deca-BDE com traços de nona-BDE) (CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2006; AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISIESE REGISTRY, 2017). Aproximadamente 90 % da produção mundial de penta-BDE foi utilizada principalmente na produção de espumas de poliuretano para móveis residenciais e de escritório (WHO, 1994). O octa-BDE foi muito utilizado na fabricação de polímeros para produção de eletroeletrônicos (ABS), peças automotivas e computadores e o deca-BDE foi utilizado em poliestireno e outros polímeros de uso em gabinetes de TV e computadores, componentes eletroeletrônicos, cabos e revestimentos de tecidos (ALAE et al, 2003).

Levantamento feito pelo Bromine Science and Environmental Forum (BSEF) mostra que o uso das misturas comerciais de PBDEs em 2001 obedece a certo padrão geográfico, como mostra a Tabela 1. Nessa tabela é possível observar que a maior parte da mistura penta-BDE foi utilizada pelas indústrias das Américas (principalmente América do Norte, por concentrarem os países mais industrializados do continente), enquanto as misturas de octa-BDE e deca-BDE apresentavam demanda de uso igualmente distribuídas entre Américas e Ásia, com pouco uso por países da Europa (BSFE, 2003).

Tabela 1 - Demanda de mercado de PBDEs em 2001.

Produto comercial	Américas ^a		Europa ^b		Ásia ^c	
	Demanda de mercado	Consumo estimado (toneladas)	Demanda de mercado	Consumo estimado (toneladas)	Demanda de mercado	Consumo estimado (toneladas)
Deca-BDE	44 %	24.500	13 %	7.600	43 %	24.050
Octa-BDE	40 %	1.500	16 %	610	44 %	1.680
Penta-BDE	95 %	7.100	2 %	150	3 %	250

Fonte: adaptado de BSEF, 2003.

^a Todos os países das Américas do Norte, Sul e Central inclusos.

^b Todos os países da Europa Ocidental e Oriental inclusos.

^c Incluindo Austrália, Nova Zelândia e Índia.

No Brasil não existem dados sobre a importação e o consumo de PBBs/PBDEs, provavelmente porque o Brasil nunca produziu ou importou esses compostos para serem adicionados à matriz polimérica, mas importa polímeros ou materiais poliméricos já formulados, que podem conter esses retardantes de chama (PIERONI et al, 2017; ANNUNCIAÇÃO, 2018).

Por serem fisicamente misturados ao material polimérico e não quimicamente ligados, os PBBs/PBDEs podem migrar para fora da matriz polimérica pela ação do tempo, calor, luz ou abrasão,

contaminando o meio ambiente (ANNUNCIACÇÃO et al, 2018). Em geral, a principal fonte de emissão de PBBs/PBDEs para o meio ambiente são as fábricas que produzem esses compostos, ou que os utilizam como aditivos em polímeros, como na fabricação de utensílios, ou durante a etapa de incorporação na matriz polimérica dos produtos eletroeletrônicos (PAZIN et al, 2015). No entanto, também já se observou a emissão desses compostos durante o ciclo de vida dos produtos que os contém, como móveis, computadores, televisores e outros equipamentos eletroeletrônicos, especialmente para o ar de ambientes internos, por meio da adsorção em partículas de poeira (WATANABE; SAKAI, 2003; PORTET-KOLTALO et al, 2021; JIN et al, 2021). Também há registros da emissão para o meio ambiente no descarte irregular desses equipamentos em aterros ou na reciclagem de partes metálicas dos componentes eletrônicos (JANSSEN, 2005; CHOI, JANG, KIM, 2017; STUBBLINGS et al, 2021).

Assim como ocorre com outros poluentes persistentes, como as dioxinas e furanos e as bifenilas policloradas (PCBs), a exposição humana aos PBBs/PBDEs se dá majoritariamente pelo consumo de alimentos contaminados. No entanto, a inalação/ingestão de poeiras em ambiente doméstico e em escritórios também contribui significativamente para a exposição (FROMME et al, 2014; AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2017). Há também evidência de contaminação por exposição ocupacional em trabalhadores da indústria de eletroeletrônicos, que respiram poeiras contaminadas com esses compostos (WATANABE; SAKAI, 2003). Apesar de nem sempre conclusivos, estudos indicam que a exposição a esses compostos interfere no metabolismo dos hormônios da tireoide (principalmente o T4) podendo ocasionar diversos problemas de desenvolvimento, principalmente em fetos e crianças, como baixo peso e altura no nascimento, dificuldades motoras e de aprendizado, entre outros problemas neurológicos (WHO, 1994; SIDDIQI, 2003; MCDONALD, 2005; COSTA et al. 2014). Outros efeitos negativos da exposição a esses contaminantes relatados na literatura são alterações no sistema imunológico, neurotoxicidade, infertilidade e até mesmo anomalias genitais (PAZIN et al, 2015; LUAN et al, 2021).

Por conta dos riscos à saúde humana decorrentes da exposição a esses compostos, os países da União Europeia aprovaram em 2003 a Diretiva 2002/95/EC (também conhecida como Diretiva RoHS - Restriction of Certain Hazardous Substances), que limitou o uso de PBBs/PBDEs em produtos eletroeletrônicos em no máximo 1000 mg/kg (ou 0,1 % em massa) e obrigou os importadores desses produtos a comprovarem a conformidade dos mesmos antes da inserção no mercado europeu (EUROPEAN COMMISSION, 2003). Essa diretiva visa facilitar o descarte e a reciclagem de produtos eletroeletrônicos e diminuir o impacto ambiental desses processos. Em seguida, o uso de deca-BDE passou a ser proibido nos países da EU em julho de 2008 (COVACI et al, 2011) e em 2009 os PBBs e PBDEs em geral foram incluídos também na lista de Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs) da Convenção de Estocolmo (PIERONI et al, 2017). Em 2004, as indústrias dos Estados Unidos da América (EUA) já haviam parado voluntariamente de usar as misturas de penta e octa-BDE e a partir de dezembro de 2013 os EUA, como um todo, pararam de importar e utilizar também o deca-BDE (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY, 2017). Outros países, como Japão, China e Coreia também já possuem legislação semelhante à RoHS, restringindo a entrada de produtos contendo esses compostos (SOUZA e ROMANEL, 2016). No Brasil, no entanto, um conjunto de normas nesse sentido ainda não existe.

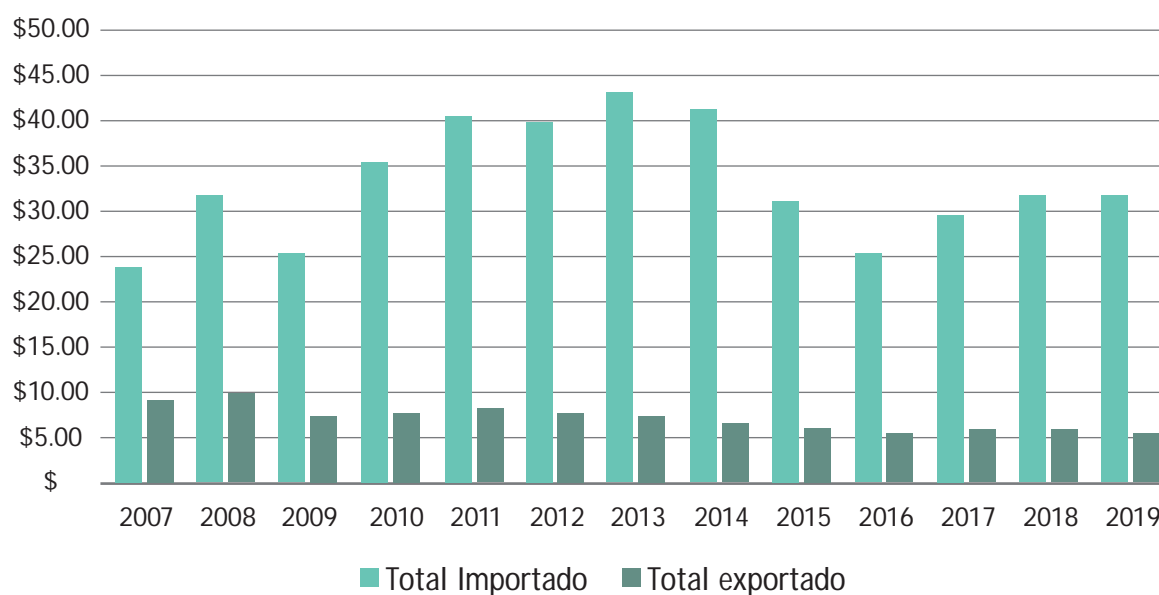
Em dezembro de 2017 o governo brasileiro, por meio do ministério do meio ambiente, realizou uma consulta pública junto às empresas de eletroeletrônicos, com o intuito de estabelecer uma norma brasileira parecida com a diretiva RoHS, mas essa iniciativa ainda não se concretizou em uma regulamentação (MARTINS, 2017). Os únicos regulamentos brasileiros nesse sentido são a Instrução Normativa N° 01/2010 do então Ministério do Planejamento (BRASIL, 2010), que estabelece que a compra de órgãos públicos do Governo Federal deve obedecer aos critérios da diretiva RoHS quanto à restrição de substâncias danosas ao meio ambiente, e a Instrução Normativa N° 12/2013 do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA, 2013), que regula a importação de resíduos de outros países para prevenir a entrada de resíduos perigosos no país e atender aos requisitos da Convenção de Basileia. Nenhuma dessas normas, no entanto, se aplica aos produtos que circulam no mercado interno do país.

Apesar de ter seu uso banido há algum tempo, os PBBs/PBDEs ainda podem ser encontrados em diversos produtos antigos, como TVs, computadores e móveis que contenham espumas de poliuretano e, por conta disso, vários trabalhos reportam contaminação por esses compostos nos diversos compartimentos ambientais (FROMME et al, 2014; OLORUNTOBA et al, 2021). Se considerar ainda que a maior parte dos equipamentos fabricados até 30 anos atrás (quando o mundo utilizava largamente PBBs/PBDES) ainda estão sendo descartados, o risco de contaminação ambiental por esses compostos é ainda altamente provável (COVACI et al, 2011; OLORUNTOBA et al, 2021).

No Brasil, apesar de não haver produção de compostos polibromados em território nacional, e de a importação dessas substâncias "puras" ser improvável, vários estudos mostram níveis de contaminação por compostos polibromados em diversos compartimentos ambientais, como solo, sedimento e ar (RODRIGUES et al, 2015; FERRARI, 2016; ANNUNCIAÇÃO, 2017), e, até mesmo, em alimentos como peixe (QUINETE et al, 2011) e mel (MOHR et al, 2014). Isso indica que parte dos produtos eletroeletrônicos importados pelo país contém níveis desconhecidos desses compostos que, ao final da vida útil, podem parar no meio ambiente e, eventualmente, no organismo da população em geral (MCDONALD, 2005). O fato de não haver uma legislação nacional que exija que o importador comprove a isenção de substâncias tóxicas nos produtos comercializados configura ainda uma barreira técnica que coloca a indústria brasileira em desvantagem internacional (RUIZ et al, 2011).

Dados da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABIEE) mostram que as exportações de produtos eletroeletrônicos do Brasil sempre perderam para as importações, o que significa mais produtos entrando do que saindo do país, principalmente itens de informática e utilidades domésticas (Figura 2). Como ainda não há uma exigência de um controle de substâncias por parte do governo brasileiro, não é possível saber quais compostos tóxicos podem estar entrando no país e em que tipo matriz (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA, 2019).

Figura 2 - Balança comercial de produtos eletroeletrônicos – série histórica (em bilhões de dólares).



Fonte: ABINEE, 2019

Em 2007 o então Laboratório de Análises Químicas (LAQ), agora Laboratório de Química e Manufaturados (LQM) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) integrou o grupo de trabalho promovido pelo Ministério do Meio Ambiente e coordenado pelo Sistema Brasileiro de Tecnologia (SIBRATEC) para discutir e implementar a capacitação laboratorial para os ensaios do escopo da diretiva RoHS. Por meio dessa capacitação, o LQM atendeu a indústria nacional quanto aos requisitos para a exportação de seus produtos para o mercado internacional (principalmente o europeu) até o ano de 2019, quando o ensaio foi retirado do escopo de acreditação devido à baixa demanda. Em 12 anos, foram analisados mais de 7000 materiais para verificação de conformidade dos produtos produzidos no Brasil e qualificá-los para a venda no mercado externo e também interno.

Este trabalho apresenta o histórico de amostras analisadas no LQM/IPT no período de 2007 a 2019, o número de casos positivos para PBBs/PBDEs e o perfil de compostos observados nos casos positivos. A partir dos dados levantados, discute-se o potencial de emissão desses compostos pelas indústrias de eletroeletrônicos do Brasil e a necessidade do estabelecimento de uma legislação nacional a esse respeito.

2 Procedimento metodológico

O levantamento dos dados foi realizado por meio de consulta ao sistema para registro e acompanhamento de amostras utilizado pelos laboratórios de ensaio do IPT (Acomplab) e aos relatórios de ensaio emitidos no período estabelecido para o estudo. Os dados foram então agrupados e classificados para se obter o número de amostras positivas e o tipo de composto detectado nos materiais.

Em geral, a análise química de retardantes de chamas bromados, como os PBBs/PBDEs, é feita por meio de extração com solvente orgânico em aparelho Soxhlet, seguido de etapa de purificação (quando necessário) e determinação por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM). A maioria dos métodos, no entanto, é desenvolvida para matrizes ambientais ou biológicas, onde a concentração esperada para esses compostos está na ordem de ng/g e não para produtos industrializados, onde se espera concentrações na ordem de porcentagem (PAPACHLIMITZOU et al, 2012).

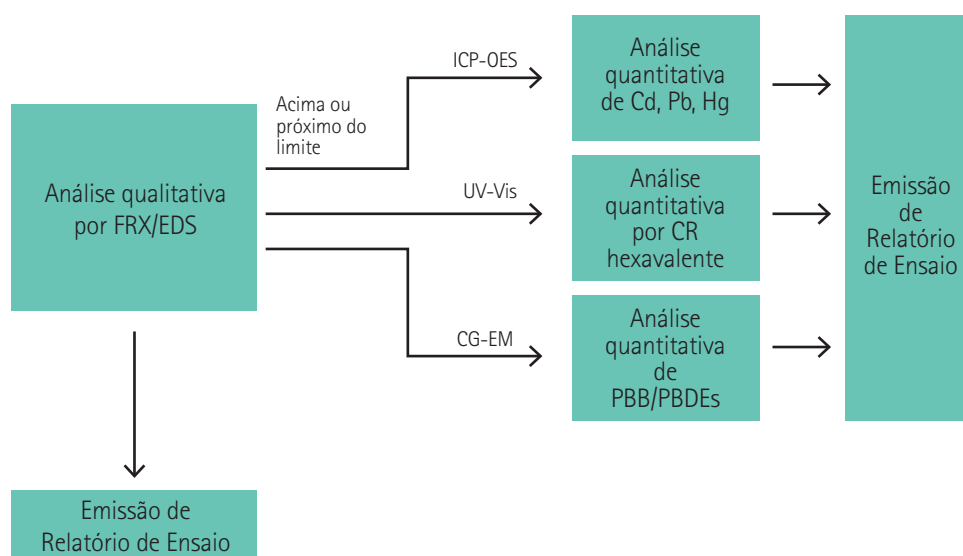
Para o monitoramento desses compostos em produtos industrializados, o método de referência é a norma EN 62321 – parte 6, que estabelece a forma de preparo das amostras, extração e quantificação das substâncias restritas (IEC BS EN 62321, 2015). Em geral, uma etapa de triagem é realizada no laboratório para verificar se há presença dessas substâncias em níveis que possam estar acima do recomendado pela legislação. Essa triagem (ou screening, termo comumente utilizado por laboratórios de análise química) é realizada pela técnica de espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (FRX-EDS), que monitora, qualitativamente e semi-quantitativamente, a presença dos elementos bromo (Br), chumbo (Pb), cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e cromo (Cr) no material. Caso o material não apresente as substâncias monitoradas, ou se as substâncias estiverem presentes em níveis abaixo do limite estabelecido, o ensaio é encerrado e um relatório é emitido com o resultado negativo (Tabela 2). Se houver detecção das substâncias acima ou próximo do nível estabelecido, o material segue para determinação quantitativa, especificamente para os elementos detectados, pelas técnicas de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas (CG-EM) para PBBs/PBDEs, espectrometria de emissão óptica (ICP-OES) para Cd, Pb e Hg e ainda espectrometria no ultravioleta (UV-VIS) para Cr hexavalente (uma vez que a técnica de FRX detecta apenas o cromo total no material), como mostra o fluxograma na Figura 3. É importante ressaltar que no caso do bromo, um resultado positivo na técnica de FRX-EDS não necessariamente significa a presença de PBBs/PBDEs, uma vez que compostos inorgânicos contendo bromo ou outros compostos orgânicos polibromados (detalhados na próxima seção) podem estar presentes no material. Sendo assim, a análise por CG-EM pode apresentar resultado negativo mesmo que o ensaio por FRX-EDS tenha dado positivo para bromo. Ainda assim, por ser mais complexa e demorada e utilizar padrões de alta pureza, a análise cromatográfica tem também um custo elevado e só é recomendada para amostras que apresentam resultado positivo para bromo na primeira etapa.

Tabela 2 - Critérios de aceitação para a análise prévia (screening).

Elemento	Limite máximo	Aprovado	Não conclusivo (precisa de análise quantitativa)
Cádmio (Cd)	100 mg/kg	$0 < Cd < 40$	$40 < Cd < 130$
Chumbo (Pb)	1000 mg/kg	$0 < Pb < 300$	$300 < Pb < 1300$
Mercúrio (Hg)	1000 mg/kg	$0 < Hg < 300$	$300 < Hg < 1300$
Cromo total (Cr)	1000 mg/kg	$0 < Cr \text{ total} < 300$	$Cr \text{ total} > 300$ Br total > 300
PBB e PBDE (Br)	1000 mg/kg	$0 < Br \text{ total} < 300$	Br total > 300

Fonte: elaborado pelo autor

Figura 3 - Fluxograma do processo de análise para substâncias da Diretiva RoHS no LQM/IPT até o ano de 2019.

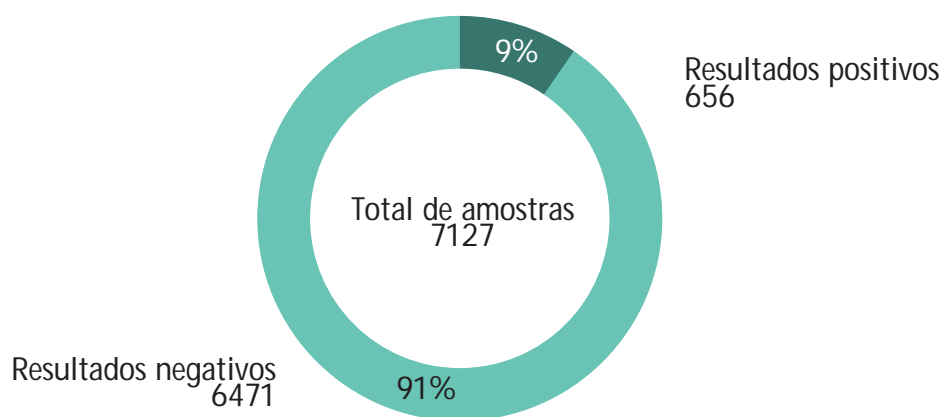


Fonte: elaborado pelo autor

3 Resultados e discussão

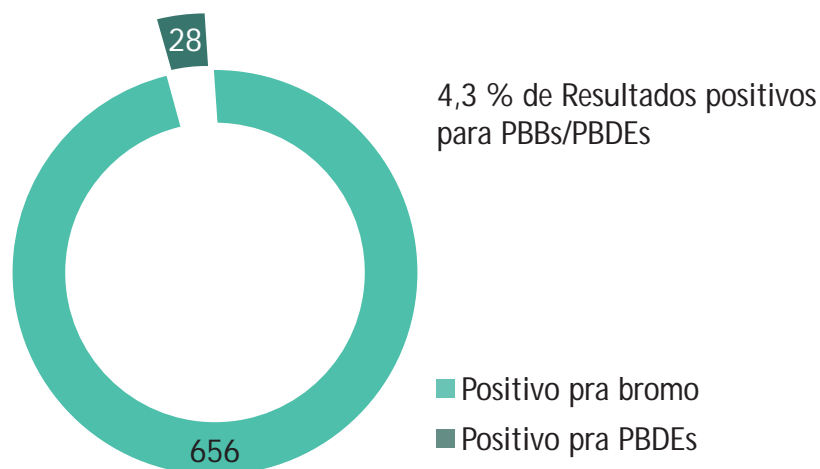
No período de 2007 a 2019 foram analisados 7127 amostras, entre screening e determinações quantitativas. Desse total, 656 amostras testaram positivo para bromo na análise por FRX-EDS, o que representa apenas 9,2 % de potencial reprovação (Figura 4). Ainda assim, quando feita a análise quantitativa especificamente para as PBBs/PBDEs, somente 28 amostras (ou cerca de 4 % do total de positivos) continham os compostos proibidos (Figura 5).

Figura 4 - Total de amostras positivas para Bromo pela técnica FRX-EDS.



Fonte: elaborado pelo autor

Figura 5 - Total de amostras positivas para PBBs/PBDEs.



Fonte: elaborado pelo autor

Nenhuma das amostras analisadas especificamente para os retardantes de chamas polibromados apresentaram a presença de bifenilas polibromadas (PBBs), o que reforça o fato de o uso desses compostos ter sido eliminado há muito tempo. Para as amostras que apresentaram resultado positivo para compostos polibromados, apenas substâncias do grupo PBDEs foram detectadas (Tabela 3).

Tabela 3 - Incidência de compostos PBDEs nas amostras analisadas.

Composto	Incidência	Número de clientes
Penta-BDE (BDE-100)	1	1
Hexa-BDE (BDE-154)	1	1
Hepta-BDE (BDE-183)	1	1
Octa-BDE (BDE-203)	20	4
Nona-BDE (BDE-206)	7	3
Deca-BDE (BDE-209)	15	6

Fonte: elaborado pelo autor

Percebe-se pela Tabela 3 que o composto de maior incidência nas amostras analisadas é o octa-BDE, seguido pelo deca-BDE e nona-BDE na sequência. Os compostos hepta-BDE, hexa-BDE e penta-BDE foram detectados apenas uma vez cada. No entanto, o alto número de positivos para octa-BDE deve-se às análises executadas para quatro clientes apenas, enquanto que o deca-BDE foi detectado nas amostras de 6 clientes, o que significa uma proporção maior desse último composto no universo de amostras analisadas. Partindo do princípio de que no Brasil não há manipulação/fabricação de PBBs/PBDEs, deduz-se que as amostras que apresentaram esses compostos podem ter sido importadas (algum componente eletrônico ou polímero fabricado fora e que foi adquirido para montar o equipamento nacional).

Considerando a composição das misturas comerciais de PBDEs descritas na seção 1, pode-se inferir, ainda, que as amostras que apresentaram resultados positivos podem ter origem na América do Norte ou em países asiáticos. Ao se considerar também os dados da balança comercial do Brasil em relação aos produtos eletroeletrônicos e utilidades domésticas, verifica-se que o volume de produtos importados da China é, em média, cerca de quatro vezes maior que o importado dos EUA (ABINEE, 2021^{a,b}). Isso implica que boa parte dos PBBs/PBDEs que entram no Brasil pode ser de origem Chinesa.

O baixo índice de detecção de compostos polibromados neste estudo não significa que o Brasil está livre dessas substâncias. Conforme explicado na seção 1, desde os anos 2000 os países mais desenvolvidos têm proibido a utilização de PBBs ou PBDEs como retardantes de chamas, o que levou a indústria a substituir esses compostos por outros que ainda são permitidos, mas que também contém átomos de bromo na molécula, como o hexabromociclododecano (HBCD) e o tetrabromobisfenol A (TBBPA), sendo que os países Europeus têm dado preferência ao uso de HBCD enquanto que os mercados asiáticos têm preferido o uso de TBBPA (STIEGER et al, 2014; PIERONI et al, 2017).

Entre os compostos atualmente utilizados como retardantes de chamas estão o decabromodifenil etano (DBDPE, utilizado em substituição ao Deca-BDE.), 1,2-bis(2,4,6-tribromofenoxi)etano (BTBPE, utilizado em substituição ao octa-BDE.), 2-etilhexil-2,3,4,5-tetrabromobenzoato (TBB), bis(2-etilhexil)3,4,5,6-tetrabromo-ftalato (TBPH, utilizado como substituto do Penta-BDE.), tetrabromobisfenol A-bis(2,3-dibromopropil éter) (TBBPA-DBPE) e o hexaclorociclopentadienildibromo-ciclooctano (HCDBCO) (COVACI et al, 2011). Pouco se sabe sobre o volume de produção e nível de consumo desses novos compostos. O que se sabe é que essas substâncias possuem características físico-químicas e perfil de bioacumulação, biomagnificação e toxicidade semelhantes às dos PBBs/PBDEs e já estão sendo detectados no meio ambiente em amostras de água, solo, sedimento e ar, mesmo em regiões remotas (WU, 2011; ZUIDERVEEN, SLOOTWEG e BOER, 2020; HOANG et al, 2021). Isso implica que muito provavelmente a exposição humana à essas novas substâncias se dá da mesma forma que a exposição aos PBDEs, ou seja, via alimentação, ingestão/inalação de poeiras em ambientes internos e exposição ocupacional.

Por conta disso, a legislação mundial tem tentado se adaptar e incluir alguns dos novos retardantes de chamas polibromados na lista de restrições, a fim de proteger a população e o meio ambiente do potencial risco desses novos compostos (SHARKEY et al, 2020). O Brasil, por ser signatário da Convenção de Estocolmo, já deveria ter implementado legislação nesse sentido, uma vez que, esse é um dos compromissos assumidos pelos países participantes desse acordo multilateral.

4 Conclusões

Este trabalho apresentou o levantamento das análises do escopo da diretiva RoHS executadas pelo Laboratório de Química e Manufaturados entre os anos de 2007 e 2019 para apoio à indústria nacional, quanto a validação dos produtos eletroeletrônicos produzidos no país e exportados para a Europa. Verificou-se que dentre as mais de 7000 amostras analisadas, apenas 28 apresentaram compostos proibidos, o que corresponde a um índice de não conformidade de menos de 0,5 %.

Esse baixo índice se deve ao fato de o Brasil nunca ter importado essas substâncias para serem utilizadas nas matrizes poliméricas fabricadas aqui. No entanto, o fato de haver detecção desses compostos nos diversos compartimentos ambientais em território nacional mostra que a entrada de produtos importados não obedece ao mesmo nível de controle de substâncias nocivas que o imposto aos produtos brasileiros, o que representa uma barreira técnica importante nessa balança comercial, além de um grande risco para o meio ambiente e à população, devido ao potencial tóxico e bioacumulativo dessas substâncias.

Nesse sentido, é primordial que as autoridades brasileiras estabeleçam regras para o controle da entrada de substâncias potencialmente nocivas nos produtos importados, por exemplo com a retomada das discussões sobre a RoHS Brasileira, iniciada em 2008 e ainda não concluída, e com a devida ampliação de escopo, considerando que parte dos compostos utilizados em substituição aos PBBs/PBDEs apresentam as mesmas características de persistência, bioacumulação e toxicidade.

Agradecimentos

Agradecemos à rede PDE SIBRATEC e à FINEP pelo apoio e fomento na implantação da metodologia para a análise de PBBs/PBDEs no Laboratório de Química e Manufaturados.

Referências

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Public Health Statement: Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs)**. 2017. ASTDR:Atlanta, GA. 9 p.

ALAE, M.; ARIAS, P.; SJODIN, A.; BERGMAN, A. An overview of commercially used brominated flame retardants, their applications, their use patterns in different countries/regions and possible modes of release. **Environment International**, v. 29, p. 683-689. 2003.

ANNUNCIÇÃO, D.L.R. Éteres difenilicos polibromados (PBDE) em sedimentos do Lago Paranoá, DF. 2017. Tese de Doutorado. Instituto de Química, Universidade de Brasília. 123 p.

ANNUNCIÇÃO, D.L.R.; ALMEIDA, F.V.; HARA, E.L.Y.; GRASSI, M.T.; SODRÉ, F.F. Éteres difenilicos polibromados (PBDE) como contaminantes persistentes: ocorrência, comportamento no ambiente e estratégias analíticas. **Química Nova**, v. 41, n. 7, p. 782-795. 2018. DOI: 10.21577/0100-4042.20170218.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. Balança Comercial de Produtos do Setor Elétrico e Eletrônico. 2019. ABINEE: São Paulo, SP. 8 p. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/abinee/decon/decon13.htm>, acesso em 28.04.2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. Balança comercial do setor elétrico e eletrônico – Brasil x China. 2021a. ABINEE: São Paulo, SP. 9 p. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/abinee/decon/dados/>, acesso em: 28/06/2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. Balança comercial do setor elétrico e eletrônico – Brasil x EUA. 2021b. ABINEE: São Paulo, SP. 9 p. Disponível em: <http://www.abinee.org.br/abinee/decon/dados/>, acesso em: 28/06/2021

BRASIL. MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. Instrução Normativa N° 01, de 19 de janeiro de 2010. **Diário Oficial da União**, n. 13, seção 1, p. 40.

BSEF (BROMINE SCIENCE AND ENVIRONMENTAL FORUM). 2003. Major brominated flame retardants volume estimates. BSEF: Brussels.

CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Ecological Screening Assessment report on Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs). 2006. 34 p.

CHOI, J.; JANG, Y.C.; KIM, J.G. Substance flow analysis and environmental releases of PBDEs in life cycle of automobiles. *Science of the Total Environment*, v. 574, p. 1085-1094. 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.027

COSTA, L.G.; LAAT, R.; TAGLIAFERRI, S.; PELLACANI, C. A mechanistic view of polybrominated diphenylether (PBDE) developmental neurotoxicity. *Toxicology Letters*, v. 230, p. 282-294. 2014. DOI: 10.1016/j.toxlet.2013.11.011

COVACI, A.; HARRAD, S.; ABDALLAH, M.A.E.; ALI, N.; LAW, R.J. HERZKE, D.; WIT, C.A. Novel brominated flame retardants: A review of their analysis, environmental fate and behavior. *Environment International*, v.37, p. 532-556. 2011. DOI: 10.1016/j.envint.2010.11.007.

EUROPEAN COMMISSION. Directive 2002/95/EC of the European parliament and of the council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. *Official Journal of the European Union*, L 37/19-23. 13 fev 2003.

FERRARI, R.S. Quantificação de PBDEs em amostras de sedimento de Ribeirão Preto e avaliação da toxicidade do BDE-209 em células HepG2 sob influência de indução autofágica. 2016. Dissertação de mestrado. Departamento de Química, Universidade de São Paulo. 77 p.

FROMME, H.; HILGER, B.; KOPP, E.; MISEROK, M.; VOLKEL, W. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs), Hexabromocyclododecane (HBCD) and "novel" brominated flame retardants in house dust in Germany. *Environment International*, v.64, p. 61-68. 2014. DOI: 10.1016/j.envint.2013.11.017.

HOANG, M.T.T.; ANH, H.Q.; KADOKAMI, K.; DUONG, H.T.; HOANG, H.M.; NGUYEN, T.V.; TAKAHASHI, S.; TRUONG, G.; TRINH, H.T. Contamination status, emission sources, and human health risk of brominated flame retardants in urban indoor dust from Hanoi, Vietnam: the replacement of legacy polybrominated diphenyl ether mixtures by alternative formulations. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-13822-9.

IBAMA, INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVAVEIS. Instrução Normativa Nº 12, de 16 de julho de 2013. *Diário Oficial da União*, 17 jul 2013.

IEC BS EN 62321 – 6. Determination of certain substances in electrotechnical products – part 6: polybrominated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in polymers by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). International Electrotechnical Commission, Genebra, Suíça. 2015. ISBN: 978-2-8322-2689-6.

JANSESEN, S. Brominated flame retardants: rising levels of concern. 2005. *Health Care Without Harm*:Arlington, VA. 33p.

JIN, M.; ZHANG, S.; HE, J.; LU, Z.; ZHOU, S.; YE, N. Polybrominated diphenyl ethers from automobile microenvironment: Occurrence, sources, and exposure assessment. *Science of the Total Environment*, v. 781, 146658. 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146658.

LUAN, M.; JI, H.; MIAO, M.; LIANG, H.; WANG, Z.; CHEN, Y.; CHEN, A.; CAO, W.; YUAN, W. Association between prenatal exposure to polybrominated diphenyl ethers and anogenital distance in girls at ages 0–4 years. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 23, 113706. 2021. ISSN: 1438-4639. DOI: 10.1016/j.ijheh.2021.113706.

MARTINS, H. Governo consulta empresas sobre regra para substâncias perigosas em eletrônicos. Agência Brasil, 28 dez 2017. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/print/1103401>, acesso em: 05.02.2018.

MCDONALD, T.A. Polybrominated Diphenylether Levels among United States Residents: Daily Intake and Risk of Harm to the Developing Brain and Reproductive Organs. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 1, n. 4, p. 343–354. 2005.

MOHR, S.; GARCÍA-BERMEJO, Á.; HERRERO, L.; GÓMARA, B.; COSTABEBER, I.H.; GONZÁLEZ, M.J. Levels of brominated flame retardants (BRFs) in honey samples from different geographic regions. *Science of the Total Environment*, v. 472, p.741–745. 2014.

OLORUNTOBA, K.; SINDIKU, O.; OSIBANJO, O.; HEROLD, C.; WEBER, R. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) concentrations in soil and plants around municipal dumpsites in Abuja, Nigeria. *Environmental Pollution*, v. 277, 116794. 2021. DOI: 10.1016/j.envpol.2021.116794.

PAPACHLIMITZOU, A.; BARBER, J.L.; LOSADA, S.; BERSUDER, P.; LAW, R.J. A review of the analysis of novel brominated flame retardants. *Journal of Chromatography A*, v. 1219, p. 15–28. 2012. DOI: 10.1016/j.chroma.2011.11.029.

PAZIN, M.; ROCHA, B.A.; JÚNIOR, F.B.; DORTA, D.J. Retardantes de Chamas – Bifenilas Polibromadas (PBDEs). *Contaminantes Emergentes (3º Capítulo)*, v. 2, n. 7. 2015. DOI: 10.15729/nanocellnews.2015.04.06.007

PIERONI, M.C.; LEONEL, J.; FILLMANN, G. Retardantes de chama bromados: uma revisão. *Química Nova*, v. 40, n. 3, p. 317–326. 2017. DOI: 10.21577/0100-4042.20160176.

PORTET-KOLTALO, F.; GUILBERT, N.; MORIN, C.; MENGIN-FONDRAGON, F.; FROUARD, A. Evaluation of polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants from various materials in professional seating furnishing wastes from French flows. *Waste Management*, v. 131, p. 108–116. 2021. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.05.038

QUINETE, N.; LAVANDIER, R.; DIAS, P.; TANIGUCHI, S.; MONTONE, R.; MOREIRA, I. Specific profiles of polybrominated diphenylethers (PBDEs) and polychlorinated biphenyls (PCBs) in fish and tucuxi dolphins from the estuary of Paraíba do Sul River, Southeastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, p. 440-446. 2011. DOI:10.1016/j.marpolbul.2010.11.021

RODRIGUES, E.M.; RAMOS, A.B.A.; CABRINI, T.M.B.; FERNANDEZ, M.A.S. The occurrence of polybrominated diphenyl ethers in Brazil: a review. *Int. J. Environment and Health*, v. 7, n. 3, p. 247-266. 2015. DOI: 10.1504/IJENVH.2015.073202.

RUIZ, M.S.; CORTES, P.L.; TEIXEIRA, C.E.; AGUIAR, A.O. Diretiva RoHS: Nova Barreira Técnica Ambiental às Exportações Brasileiras? In: XIII ENGEMA - Encontro sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. 2011.

SHARKEY, M.; HARRAD, S.; ABDALLAH, M.A.E.; DRAGE, D.S.; BERRESHEIM, H. Phasing-out of legacy brominated flame retardants: The UNEP Stockholm Convention and other legislative action worldwide. *Environment International*, v. 144, 106041. 2020. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106041.

SIDDIQI, M.A.; LAESSIG, R.H.; REED, K.D. Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs): new pollutants-old diseases. *Clinical Medicine & Research*, v. 1, n. 4, p. 281-290. 2003.

SOUZA, C.C.T.; ROMANEL, C. Uma proposta de diretiva ROHS Brasil: exigências e desafios. In: SBE16 Brazil & Portugal. 2016. ISBN: 978-85-92631-00-0

STIEGER, G.; SCHERINGER, M.; NG, C. A.; HUNGERBÜHLER, K. Assessing the persistence, bioaccumulation potential and toxicity of brominated flame retardants: data availability and quality for 36 alternative brominated flame retardants. *Chemosphere*, v. 113, p. 118-123. 2014.

STUBBLINGS, W.A.; ABDALLAH, M.A.E.; MISIUTA, K.; ONWUAMAEGBU, U.; HOLLAND, J.; SMITH, L.; PARKINSON, C.; MCKINLAY, R.; HARRAD, S. Assessment of brominated flame retardants in a small mixed waste electronic and electrical equipment (WEEE) plastic recycling stream in the UK. *Science of the Total Environment*, v. 780, 146543. 2021. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146543.

WATANABE, I.; SAKAI, S.I. Environmental release and behavior of brominated flame retardants. *Environment International*, v.29, p. 665-682. 2003. DOI: 10.1016/S0160-4120(03)00123-5.

WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). Brominated diphenyl ethers. Environmental Health Criteria 162, International Programme on Chemical Safety. 1994, Geneva:WHO. 350 p.

WU, J.P.; GUAN, Y.T.; ZHANG, Y.; LUO, X.J.; ZHI, H.; CHEN, S.J.; MAI, B.X. Several current-use, non-PBDE brominated flame retardants are highly bioaccumulative: Evidence from field determined bioaccumulation factors. *Environment International*, v. 37, p. 210-215. 2011. DOI: 10.1016/j.envint.2010.09.006

ZUIDERVEEN, E.A.R.; SLOOTWEG, J.C.; BOER, J. Novel brominated flame retardants - A review of their occurrence in indoor air, dust, consumer goods and food. *Chemosphere*, v. 255, 126816. 2020. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2020.126816 ^w

10.34033/2526-5830-v5n18-2



Case Study – Resort Corais de Búzios (RN)

Flávio Utida de Moraes Junior^{a,e*}, Alexandre Marques Nogueira Cobra^{b,e},
Valdecir Angelo Quarcioni^c, Zehbour Panossian^d

a Civil Engineer - E-Metal Alumínio,
São Paulo-SP, Brazil.

b Civil Engineer - SP Obras, São Paulo-
SP, Brazil.

c Dr. Researcher – Institute for
Technological Research – IPT, São
Paulo-SP, Brazil.

d Dra. Researcher - Corrosion and
Protection Laboratory – Institute for
Technological Research - IPT, São
Paulo-SP, Brazil.

e Master's student in housing:
planning and technology

*E-mail: engenharia@
emetalaluminio.com.br

Keywords:
aluminum; surface treatments;
filiform corrosion and corrosion
resistance.

Abstract

The characteristic properties of aluminum, high strength stiffness to weight ratio and good corrosion resistance make it a material highly used in civil construction. Currently, the heat-treatable 6000 alloys are preferred, films and coatings are applied for decorative and protective purposes and adhesion between the substrate and the coating must adhere satisfactorily. In this paper, we investigated corrosion in a construction, specifically in doors and windows frames produced through AA6063 alloy, and the use of titanium as an alternative presented to increase corrosion resistance. A case study of a resort located in Rio Grande do Norte (Brazil) is presented, which involves an area of high exposure to the sea with some pieces coming from doors and windows with oxidation problems, such as identification of the type of corrosion and the solutions treatments adopted including electrostatic paintings with titanium, a technological innovation to replace the current process with chromium. In addition to providing esthetic effect, electrostatic painting with titanium present itself as an alternative to the current process, providing paint adhesion to frames with greater corrosion resistance to the metal.

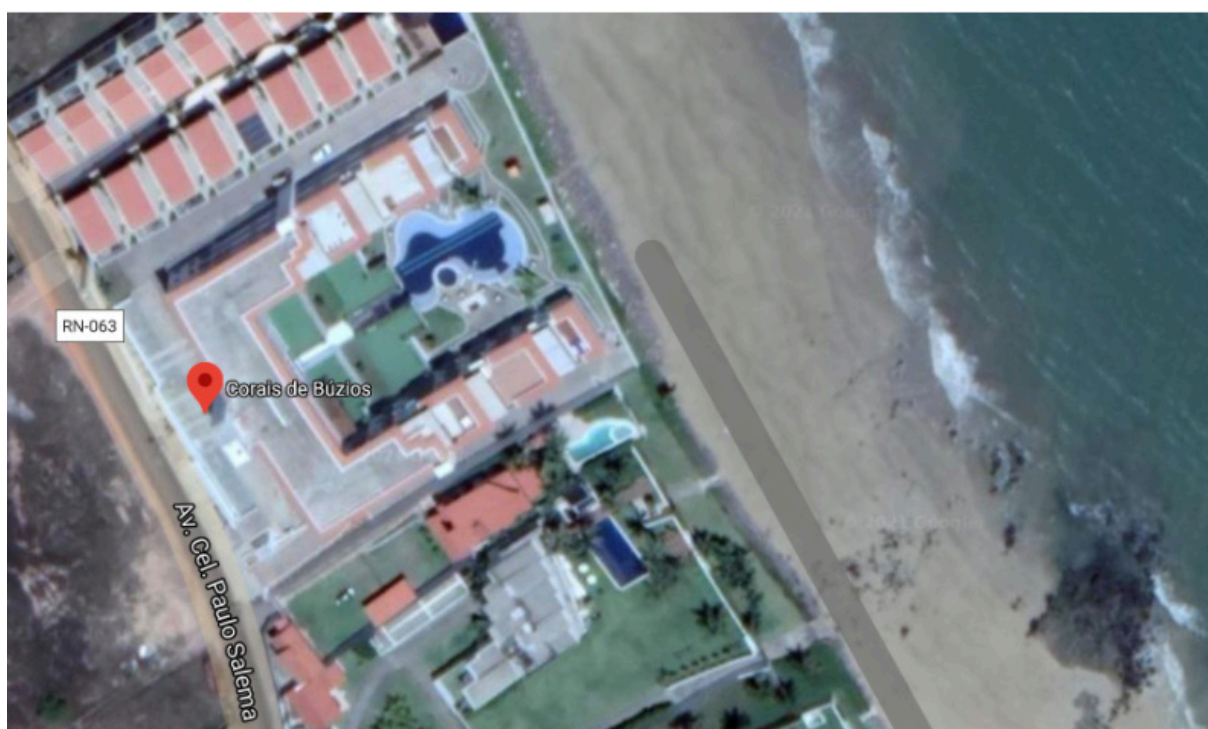
1 Introduction

To maintain the self-protection of aluminum and its alloys in specific applications, supplementary protective measures are required, applying surface treatments involving appropriate technologies. Over the years, environmental sustainability has become increasingly stringent due to specific environmental legislation. As aluminum surface treatment processes are polluters, mainly because of the use of hexavalent chromium in the electrostatic painting process, special attention has been giving to replace these processes with environmentally sustainable ones. The case study presented involves an investigation the corrosion in aluminum frames based in a AA6063 alloy pre-treated an electrostatic painting with hexavalent chromium, the present work also looks at another alloy as AA6060 alloy, both alloys present excellent natural corrosion resistance. The conditions of the pieces in situ showed to be filiform corrosion, the attack was superficial but aesthetic unpleasant and hence undesirable, an alternative system to current practice which represents a technological innovation in the surface treatment with titanium shows itself as a solution for the treatment enhance the adhesion. The objective is generate knowledge that contributes to practical applications without generating pollutants as in the current process (with chromium). Filiform corrosion occurs in humid, although not saturated atmospheres: between 70% and 95% for aluminum, at temperatures between 20oC and 40oC. Water saturated atmospheres produce blisters rather than filiform corrosion (DELPLANCKE et al., 2001). Usually, this type of corrosion is associated with failures in the adhesion of the surface treatment or breaks in the coating and the solution is the replacement the piece. This type of corrosion takes the form of filaments which do not cross each other and propagate from the ends of the pieces. The corrosion products cause surface peel off and you may, eventually, note a white powder coming off the frames.

2 Methodology

The case study presented is aimed at analyzing the corrosion in windows and doors frames from Resort Corais de Búzios located in Nísia Floresta (Northeast Brazil Coast) in the state of Rio Grande do Norte in Brazil (Figure 1). Five years after finished the installation service in September 2014 pitting corrosion appeared at the aluminum pieces which, were treated with electrostatic painting with hexavalent chromium. The resort is located a few meters from sea with moderate incidence of winds (important feature due to the deposition of salt air on the frames).

Figure 1 – Resort Corais de Búzios



Source: Centro Nacional de Estudos Espaciais (2020)

The resort is not used as a residence by owners, they use it for season and for this reason doors and windows are not submitted to regular cleaning and maintenance, therefore, they are directly subject to weather conditions. Cleaning and maintenance are essentials to keep pieces in terms of use and avoid the accumulation of salt on the frames, technical standards establishes minimum and periodic times for the maintenance of these products as ABNT NBR 14125:2016: Aluminum and its alloys – Surface treatment – Requirements for organic coating for architectonic purposes (ABNT, 2016), which recommends that the profiles be cleaned every 12 months in urban or rural regions and every 3 months when in industrial or maritime environment. We visited the local to evaluate and to monitor the pathology where samples were collected. The visual inspection evidenced clear characteristics of

filiform corrosion, pitting corrosion appeared specially at the cut edges and machining parts of the pieces (Figure 2). It is important to mention that aluminum bars were painted before cutting and assembling so these regions remained unprotected which reinforces the filiform corrosion.

Figure 2 – Filiform corrosion in aluminum profiles



Source: Own authorship, 2019

The corrosion caused aesthetic effect and not structural damage, a detailed inspection showed that the pieces underwent severe filiform corrosion which caused the detachment of the paint layer, in some cases it appeared in form of trails at one or more points. Filiform corrosion is associated with mechanical impair of the coating which exposes the coating and metal interfaces, such as cut edges. Filiform corrosion occurs on some metallic materials covered with an organic coating. It shows up as lifting of the coating, in the shape of narrow and possibly long filaments, initiating from defects of the coatings (DELPLANCKE et al., 2001).

3 Results and discussion

At the resort the aluminum alloy used is AA6063 (composition: 0.2%-0.6% Si, 0.35% Fe, 0.1% Cu, 0.1% Mn, 0.45%-0.9% Mg, 0.1% Cr, 0.1% Zn, 0.1% Ti, 0.15% others) used in Brazil for aluminum doors, windows and facades, recommended by Brazilian Aluminum Association Guide (ABAL, 2014). The alloy has little influence on filiform corrosion which is more oriented to substrate adhesion. During the case study we observed a few companies that work with titanium for aluminum coatings in civil construction, most companies still use hexavalent chromium in processes. In December 2019 all the frames were replaced for new ones which received titanium treatment, the end of the pieces and cutting and machining parts had been protected for a layer of neutral sealant. Since the pieces were replaced, no points of filiform corrosion were evidenced in the new pieces.

4 Conclusions

We attempted to identify the factors who influenced the appearance of filiform corrosion at the resort, the short distance from the sea must be the main reason. In the case study it was possible to show as a preventive measure to improve the quality of coatings in civil works, protect the ends of pieces and the places that were subjected to the processes machining (drilling, cutting, etc.) or any parts where stay unprotected and confirmed the importance of a coating with better adhesion. Titanium in painting process for aluminum coating can replace chromium used today due to the disposal problems involving chromium, a material considered carcinogenic with controlled disposal. According to the authors it is necessary to research more about titanium in electrostatic painting for aluminum frames in civil construction.

The work was presented during 21st INTERNATIONAL CORROSION CONGRESS & 8th INTERNATIONAL CORROSION MEETING, 2020. São Paulo. Poster.

5 References

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO – ABAL. *Guia técnico do alumínio: extrusão, 5ª ed.* São Paulo – SP, 2014. v. 1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 14125: *Aluminum and its alloys – Surface treatment – Requirements for organic coating for architectonic purposes.* São Paulo – SP, 2016. 11p.

CENTRO NACIONAL DE ESTUDOS ESPACIAIS (Brasil). *Corais de Búzios.* Disponível em: <https://www.google.com.br/maps/place/Corais+de+B%C3%BAzios/@-002643835.1098775,441m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x98cd5ac436531c58!8m2!3d-6.0028225!4d-35.1111031>. Accessed on February 2nd, 2020.

JEAN LUC, Delplancke; S. Berger; X. Lefebvre; D. Maetens, A. Pourbaix; N. Heymans. *Filiform corrosion: interactions between electrochemistry and mechanical properties of the paints.* *Progress in Organic Coatings*, v.43, p.64-74, 2001.

PECEQUILLO, Cristiane Vargas; PANOSSIAN, Zehbour. *Revisando conceitos: corrosão em frestas, parte 1.* *Corrosão e Proteção*, n. 10, p. 20-28, jan.-fev., 2013.

X.F. Liu. *Filiform corrosion attack on pretreated aluminum alloy with tailored surface of epoxy coating.* *Corrosion Science*, v.49, p.3494-3513, 2007.

10.34033/2526-5830-v5n18-3



Artigo técnico

Uma pesquisa com usuários sobre gestão metrológica na área de físico-química

A Users survey on metrological management in the physical chemistry arena

Fabício Gonçalves Torres^{a*}; Diogo Cesar Borges Silva^a; Marcel Joly^b

^a Laboratório de Metrologia Elétrica, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – Brasil.

^b Agência Reguladora de Serviços Públicos do Estado de São Paulo, ARSESP – Brasil.

E-mail: fabrigt@ipt.br

Palavras-chave:
metrologia; físico-química; medidor de pH; medidor de condutividade.

Keywords:
metrology; physical chemistry; pH meter; conductivity meter.

Resumo

Na arena da instrumentação físico-química, medidores de pH e de condutividade emergem como equipamentos críticos, sendo largamente utilizados em diversos segmentos industriais, na prestação de serviços laboratoriais e no campo da pesquisa e desenvolvimento. Medidas de pH e condutividade são essenciais para, por exemplo, a avaliação da qualidade da água, de combustíveis, de alimentos, e para a caracterização de materiais. Neste sentido, o grau de conhecimento teórico e prático dos usuários sobre o funcionamento e operação destes equipamentos, bem como dos conceitos metrológicos que envolvem o processo de medição, é fator crítico para que a medição seja realizada adequadamente. Enfocando questões relacionadas à estimativa de incerteza de medição, calibração e uso de material de referência, o presente trabalho apresenta e analisa os resultados de uma pesquisa com usuários de medidores de pH e de condutividade em diversas áreas de atuação. Conclui-se que a prática de alguns aspectos metrológicos, tais como a estimativa da incerteza de medição, ainda não está amplamente difundida, e torna-se necessária a capacitação dos usuários e disponibilização de ferramentas metrológicas que facilitem o exercício das boas práticas laboratoriais.

Abstract

In the arena of physical-chemical instrumentation, pH and conductivity meters emerge as critical equipment, being widely used in several industrial segments, in the provision of laboratory services and in the field of research and development. Measures of pH and conductivity are essential for, for example, the evaluation of the quality of water, fuels, food, and for the characterization of materials. In this sense, the degree of theoretical and practical knowledge of users about the functioning and operation of this equipment, as well as the metrological concepts that involve the measurement process, is a critical factor for the measurement to be carried out properly. Focusing on issues related to the estimation of measurement uncertainty, calibration and use of reference material, the present work presents and analyzes the results of a survey with users of pH and conductivity meters in several areas of activity. It is concluded that the practice of some metrological aspects, such as the estimation of measurement uncertainty, is not yet widespread, and it is necessary to train users and provide metrological tools that facilitate the exercise of good laboratory practices.

1 Introdução

A qualidade de um produto ou serviço prestado na arena laboratorial está intrinsecamente relacionada ao bom funcionamento de sua gestão metrológica envolvida no processo produtivo de qualquer empresa. Uma tomada de decisão assertiva, que pode impactar positivamente na entrega de um produto ou serviço, somente é possível a partir de medições confiáveis e com o rigor adequado à sua finalidade.

Medições tornam-se confiáveis a partir de uma série de fatores, tais como (INMETRO, 2012a):

- método e procedimento de medição;
define "como" e "o que" deve ser medido. Garante uma padronização de como a medição é realizada, obtendo resultados que possam ser comparados e analisados.
- rastreabilidade metrológica;
o resultado da medição é relacionado a uma referência através de uma hierarquia de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição.
- incerteza da medição;
parâmetro que caracteriza a dispersão dos valores de um mensurando. Ela pode ser estimada a partir da distribuição estatística dos valores (tipo A) ou por avaliação baseada em outras informações (tipo B), tais como: certificado de calibração, classe de exatidão de um instrumento de medição, entre outros.

O entendimento destes fatores é recomendável para um usuário de um dado equipamento de medição e indispensável para quem analisa os resultados de uma medição. Para o conhecimento desses fatores, é necessário um nível adequado de entendimento das leis da natureza por trás do mensurando; do princípio de funcionamento do equipamento de medição, suas limitações e fontes de erros para, assim, permitir uma adequada estimativa de incerteza de medição.

Potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica são propriedades físico-químicas amplamente empregadas na fabricação e no controle de diversos produtos, incluindo desenvolvimentos de fronteira em nanotecnologia (e.g., AVRAMESCU et al., 2017), ou na área da saúde, onde pH e condutividade são parâmetros importantes para o diagnóstico de doenças de um paciente (REHMAN; HALAI, 2011).

Neste sentido, medidores de pH e de condutividade, por serem amplamente utilizados e possuírem grande importância para a produção de produtos e de serviços com qualidade assegurada, exigem uma gestão metrológica adequada por parte dos usuários desses equipamentos.

1.1 Princípio de funcionamento

O medidor de pH e o medidor de condutividade, apesar de terem princípios físicos distintos, possuem grandes similaridades. Ambos os tipos de equipamentos são constituídos de um indicador, que recebe um sinal elétrico correspondente à leitura do equipamento, e um eletrodo (ou uma célula de condutividade) que, basicamente, tem a função de transdutor, convertendo uma grandeza físico-química em uma grandeza elétrica.

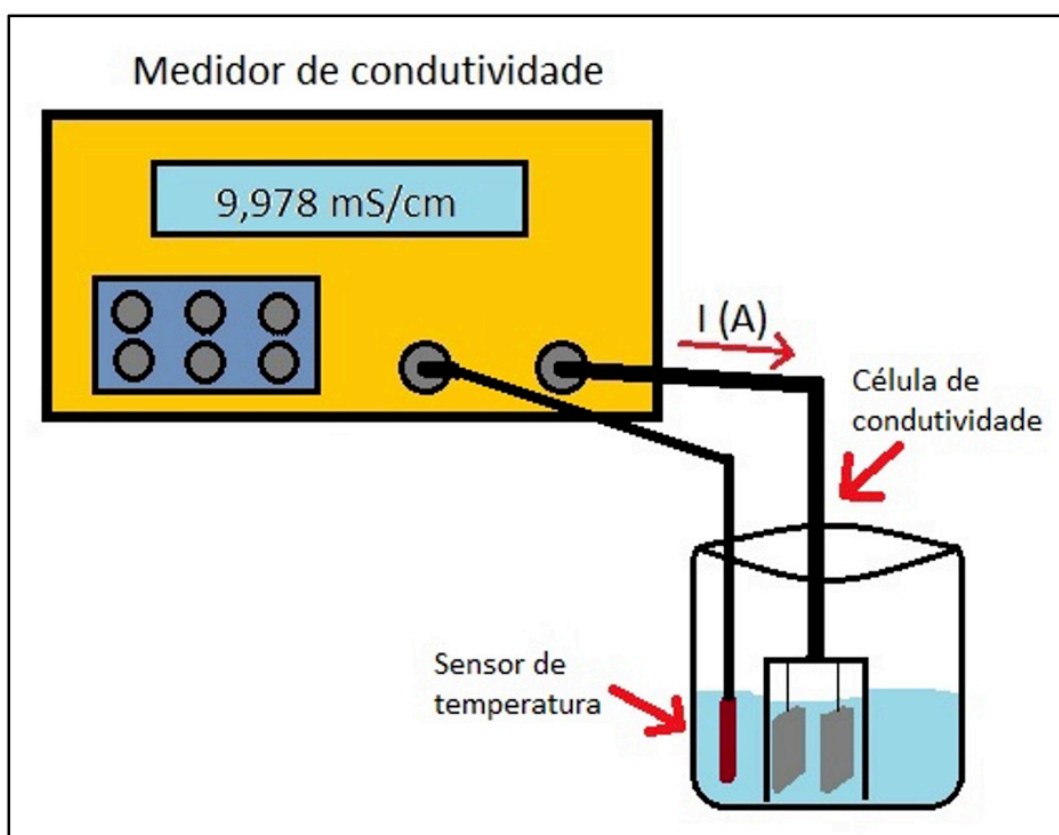
As medidas de pH e de condutividade são influenciadas pela variação de temperatura. Por este motivo, é comum que estes equipamentos tenham um sensor de temperatura que obtém o valor da temperatura da solução durante da medição. Tal temperatura pode ser, em seguida, compensada no valor da medida obtida pelo equipamento.

Outra similaridade entre esses dois equipamentos, está relacionada ao fato de ambos necessitarem de um ajuste prévio antes da medida a ser realizada. Esse ajuste deve ser feito por meio do uso de materiais de referência preferencialmente certificados e aceitos internacionalmente, com critérios estabelecidos de acordo com a norma ABNT NBR ISO 17034 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017b).

1.1.1 Medidor de condutividade

O princípio de funcionamento de um medidor de condutividade consiste na aplicação da Lei de Ohm a partir dos parâmetros elétricos medidos com a célula de condutividade submersa na solução sob teste. Conforme apresentado na Figura 1, o indicador aplica uma tensão conhecida, produzindo uma corrente elétrica que passa através da solução de magnitude proporcional ao valor da condutividade da solução. A partir da geometria da célula de condutividade, conhecida previamente, o equipamento calcula o valor da condutividade que, usualmente, é expressa em Siemens por metro (S/m).

Figura 1 - Representação de um medidor de condutividade.



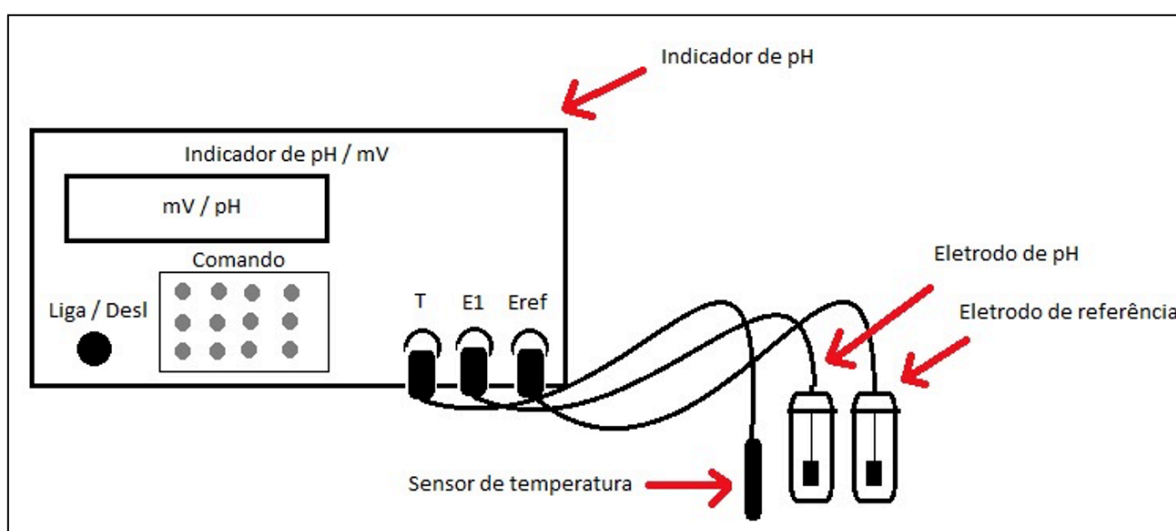
Fonte: elaborado pelo autor

1.1.2 Medidor de pH

O funcionamento de um medidor de pH (Figura 2) se baseia na medição da tensão elétrica obtidas por meio dos eletrodos. Os valores de tensão são processados internamente, corrigidos e convertidos para pH, de acordo com a Equação de Nerst. Em geral, a medição se dá relacionando a medição realizada pelo eletrodo de referência e um eletrodo de medição, sendo mais comum que o eletrodo de referência seja acoplado ao eletrodo de medição, em uma única peça, conhecida como eletrodo duplo combinado de pH.

O eletrodo de referência tem a finalidade de fornecer uma tensão estável, enquanto que o eletrodo de medição, sensível ao H_3O^+ , gera um valor de tensão proporcional à atividade de hidrônio na solução analisada (METTLER TOLEDO, 2016).

Figura 2 - Medidor de pH composto por indicador e eletrodos.



Fonte: elaborado pelo autor

1.2 Fontes de erro

É necessário ter conhecimento adequado das fontes de erros que possam estar atreladas a qualquer processo de medição. Algumas dessas fontes de erros podem ser eliminadas por completo por meio de controle de condições ambientais e cuidados com relação ao uso do equipamento, insumos e da própria amostra sob teste. Outros erros podem ser corrigidos, quando se possui informação suficiente deste erro, inclusive com relação à estabilidade do seu valor.

Os erros que podem ser corrigidos são chamados de erros sistemáticos. As fontes de erros que não podem ser eliminadas nem corrigidas são chamadas de erros aleatórios e são atribuídas como incerteza da medição. Essa distinção é parte crucial de uma medição sendo também fundamental que essas incertezas sejam expressadas adequadamente, de forma que seja assegurada a confiabilidade metrológica do resultado (VUOLO, 1996).

A medição de pH e de condutividade em uma solução desconhecida possui uma série de fontes de erros que devem ser levadas em consideração para a estimativa da incerteza da medição. Essas fontes de erros são provenientes do indicador, do eletrodo e das condições ambientais em que as medidas são realizadas. O processo de calibração fornece a rastreabilidade metrológica da medição além de oferecer informações cruciais na identificação das principais fontes de erro do item sob calibração, indicando a saúde de eletrodos e medidores.

1.3 Calibração e estimativa de incerteza de medição

Além dos cuidados básicos com o eletrodo (limpeza e armazenamento) e realização do ajuste com material de referência certificado, é também necessário que o conjunto indicador e eletrodos sejam enviados para calibração externa por laboratórios de calibração acreditados pela Coordenadoria Geral de Acreditação do Inmetro (CGCRE). Após o término da calibração, o laboratório emite um certificado de calibração para o item calibrado. Os resultados obtidos devem ser analisados para que sejam avaliados seus impactos no processo em que o medidor é utilizado.

A incerteza de medição da solução desconhecida é estimada seguindo os critérios estabelecidos no Guia para a Expressão de Incerteza de Medição – GUM (INMETRO, 2012b).

1.4 A importância de uma pesquisa com usuários dos equipamentos

Considerando que, em físico-química, as medidas de pH e de condutividade têm enorme campo de aplicação e inquestionável importância, é conveniente adotar, nos processos de medição, um conjunto de boas práticas laboratoriais bem como o correto uso das ferramentas metrológicas, de forma que seus resultados sejam confiáveis, de acordo com os requisitos gerais da norma ABNT NBR ISO 17025 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017a).

Pelo grau de importância já mencionado, justifica-se um estudo que avalie o nível de adequação, por parte dos usuários de medidores de pH e de condutividade, de alguns dos fatores metrológicos relevantes. A partir de tal estudo, será possível estabelecer se há a necessidade de implementar ações de melhoria voltadas a elevar a confiabilidade metrológica das medidas realizadas por esses usuários no processo produtivo da empresa.

2 Descrição do método da pesquisa

A pesquisa consistiu em um questionário direcionado para usuários (profissionais de nível médio e superior) de medidores de pH e condutividade. Os usuários foram selecionados através do banco de dados do Laboratório de Metrologia Elétrica do IPT, cujos e-mails de contato foram obtidos a partir de filtros aplicados sobre o tipo de instrumentação físico-química utilizada pelo usuário cadastrado. Adicionalmente, utilizando-se a rede social **LinkedIn Corporation Inc.**, outros usuários foram selecionados por meio de filtros de empresas que atuam com ensaios, calibrações e/ou pesquisa e desenvolvimento (P&D) relacionados à área de físico-química. Outro filtro aplicado para a seleção de usuários nesta plataforma foi a formação dos profissionais dos usuários da rede, tais como: química, engenharia química e farmacêutica.

A primeira pergunta do questionário inquiria se o respondente, de fato, era usuário de medidores de pH e/ou condutividade. Aqui, o intuito foi de garantir que o respondente tivesse conhecimento desses tipos de equipamentos. Com o objetivo de reduzir o risco de que usuários não familiarizados com esses equipamentos respondessem ao questionário, a mesma pergunta foi feita já no convite enviado individualmente para o potencial respondente.

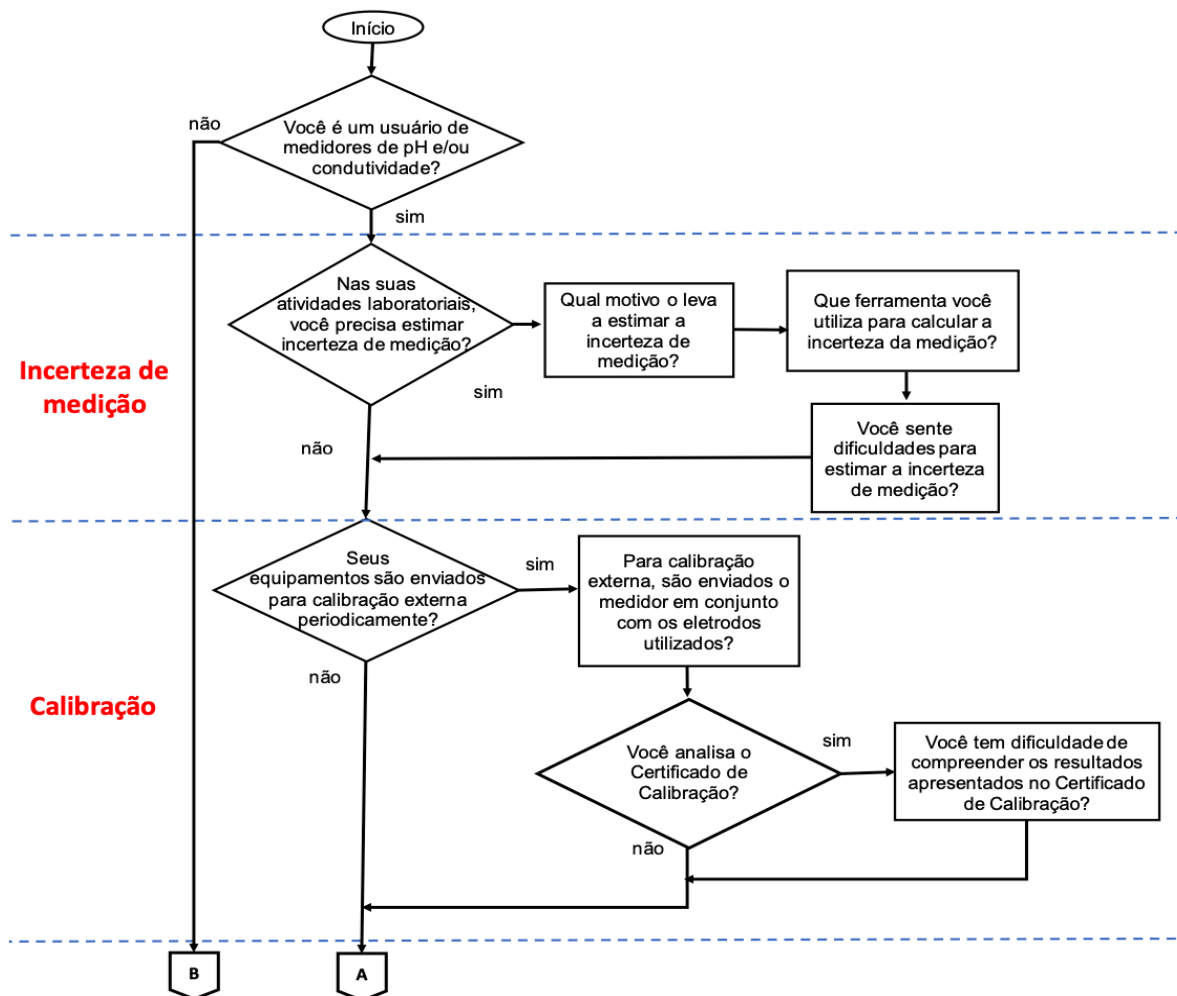
As demais perguntas do questionário foram elaboradas em blocos, que consistiam nos seguintes temas:

- estimativa de incerteza de medição;
- calibração;
- material de referência;
- capacitação e
- Identificação.

Em cada bloco haviam perguntas relacionadas ao tema do bloco, as quais eram apresentadas para o respondente a partir das respostas dadas. Em algumas situações, as perguntas dentro do mesmo tema somente eram apresentadas após a resposta do usuário à pergunta antecessora. Com relação ao último bloco (Identificação), o preenchimento dos campos não era obrigatório.

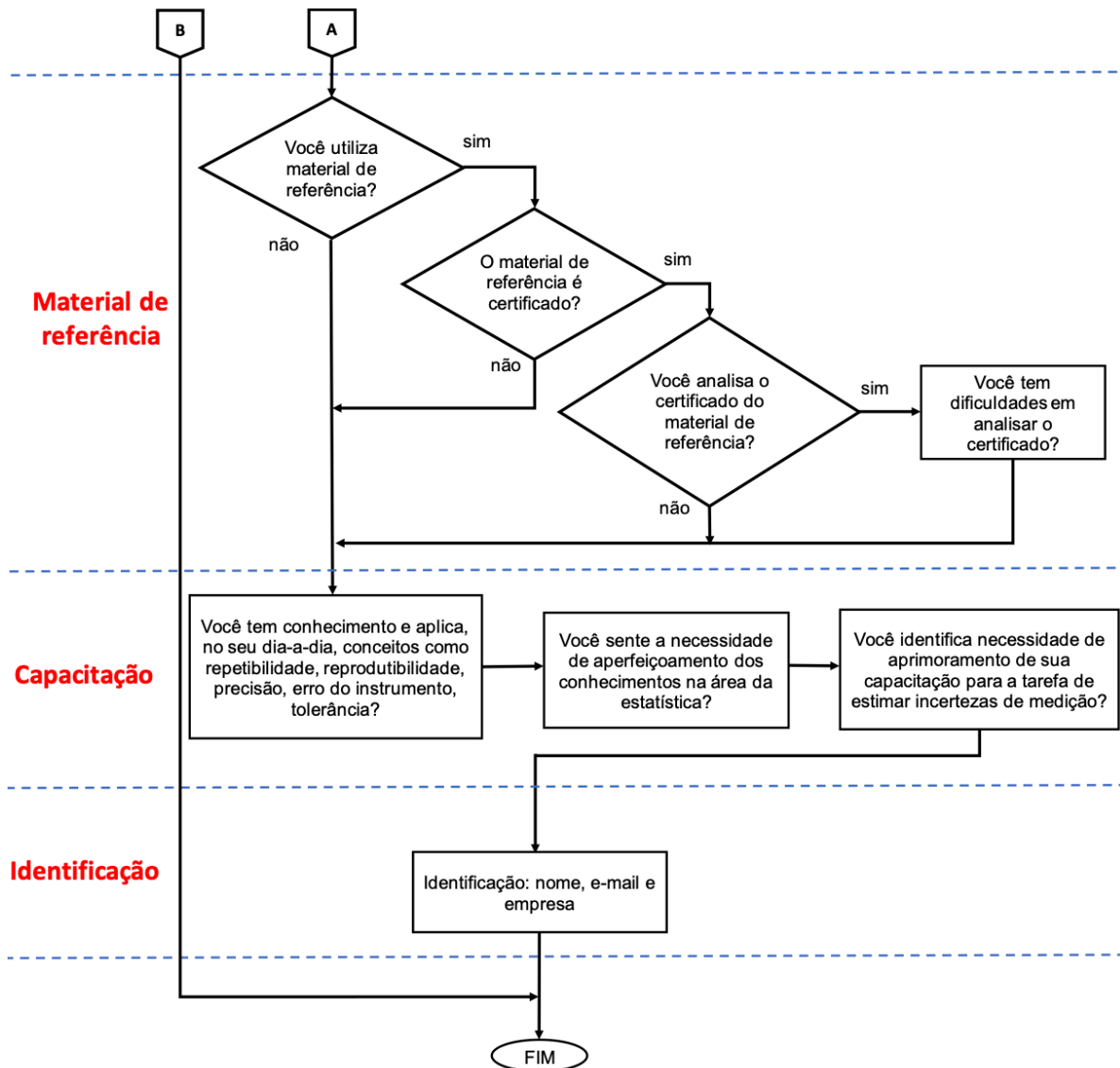
As Figuras 3 e 4 abaixo apresentam o fluxograma com as perguntas realizadas.

Figura 3 - Fluxograma do questionário usado na pesquisa com usuários de medidores de pH e condutividade (parte 1 de 2).



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 4 - Fluxograma do questionário usado na pesquisa com usuários de medidores de pH e condutividade (parte 2 de 2).



Fonte: elaborado pelo autor.

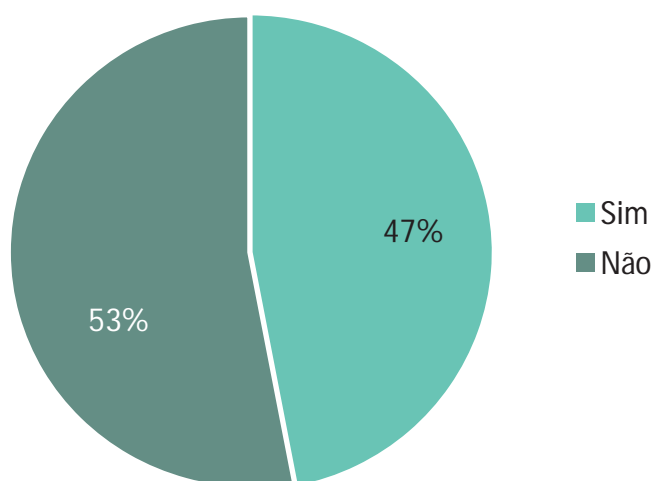
3 Resultados

A pesquisa foi respondida por 93 pessoas no período entre 21.09.2020 e 21.01.2021. A partir do nome da empresa no tema "Identificação", informado pelo respondente, foi possível constatar que, no mínimo, 35 empresas participaram com, pelo menos, um representante. As empresas citadas estão relacionadas a seguir:

- ACC Engenharia da Medição;
- Akzo Nobel;
- Archroma;
- Attend ambiental;
- Basf S.A.;
- BR Petrobrás;
- Cenpec Comércio e Serviços Ltda.;
- Centro de Tecnologia Canavieira (CTC);
- CETESB;
- CIRRA;
- Cooperativa de Café Regional de Guaxupé;
- Denver Impermeabilizantes;
- Ecomark;
- Emunah Gestão Técnica e da Qualidade;
- Grupo Infralab;
- Hb Fuller;
- IASTECH Automação;
- ICT INOVA BRASIL;
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT;
- Klin Engenharia e Gestão Ambiental;
- Metrohm Brasil;
- Montana Química;
- Myralis;
- Petrocoque S/A;
- Polyfer;
- PUCRS LABELO;
- Rovensa;
- Stärken Chemie;
- Stepan;
- Suzano;
- Symrise AG;
- Universidade Federal do Pará – UFPA;
- Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP;
- Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP;
- Universidade de São Paulo – USP

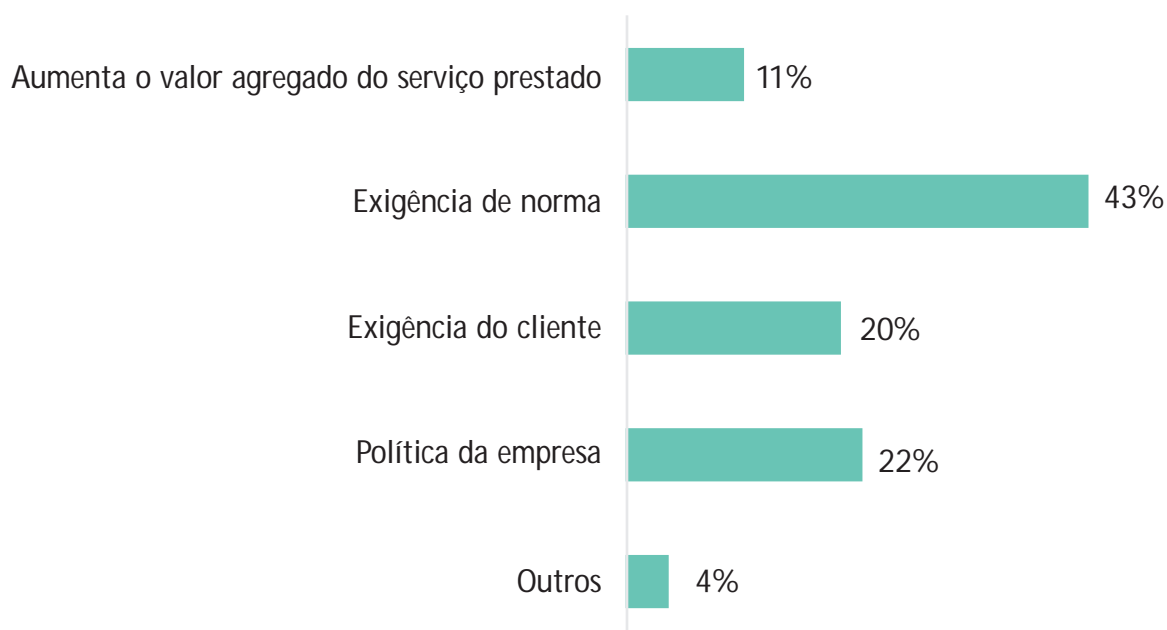
3.1 Estimativa de incerteza de medição

Figura 5 - Resposta sobre a necessidade de estimar incerteza de medição nas atividades laboratoriais. 93 usuários responderam à pergunta.



Fonte: elaborado pelo autor.

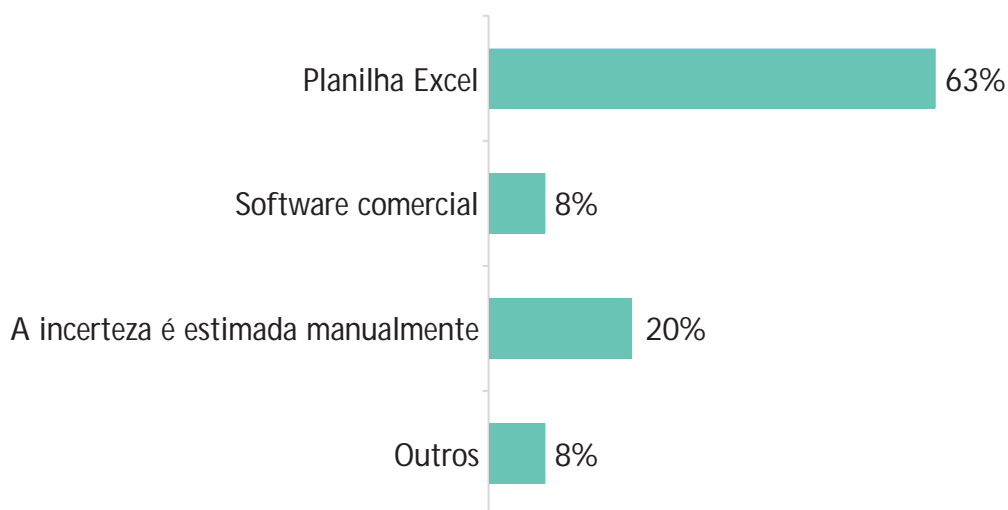
Figura 6 - Resposta sobre o motivo para estimar a incerteza de medição. 44 usuários responderam à pergunta (47% dos 93 usuários que responderam "Sim" na questão da Figura 5).



Fonte: elaborado pelo autor.

Dois respondentes preencheram no campo "Outros". As informações preenchidas foram: "publicação" e "boas práticas".

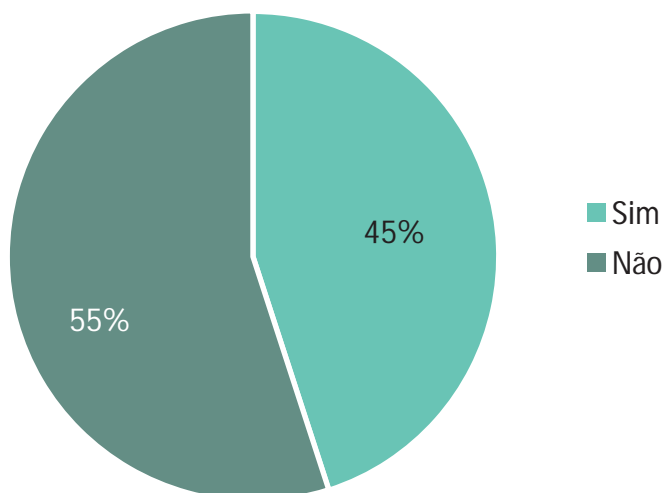
Figura 7 - Resposta sobre qual ferramenta é utilizada para estimar a incerteza de medição. 44 usuários responderam à pergunta (47% dos 93 usuários que responderam "Sim" na questão da Figura 5)



Fonte: elaborado pelo autor.

Dois respondentes preencheram no campo "Outros". As informações preenchidas foram: "sistema Limsophy em que sou representante" (sic) e "Próprio equipamento calcula".

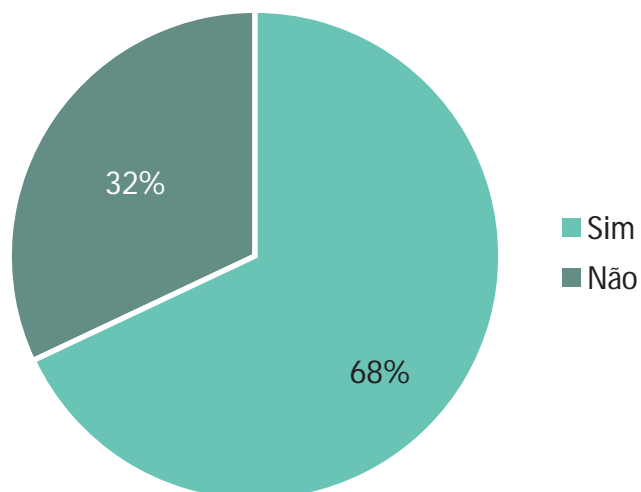
Figura 8 - Resposta sobre se há dificuldade em estimar incerteza de medição. 44 usuários responderam à pergunta (47% dos 93 usuários que responderam "Sim" na questão da Figura 5).



Fonte: elaborado pelo autor.

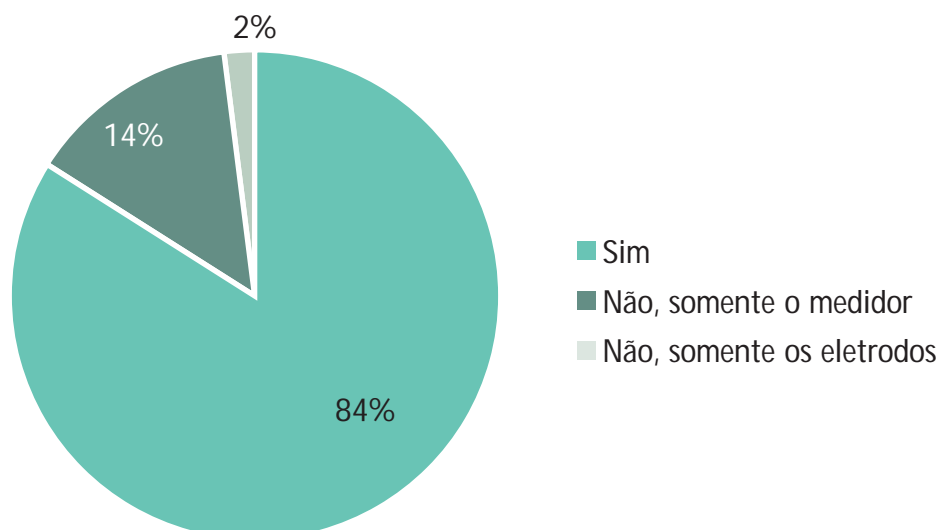
3.2. Calibração

Figura 9 - Resposta sobre se os equipamentos são enviados para calibração periodicamente. 93 usuários responderam à pergunta.



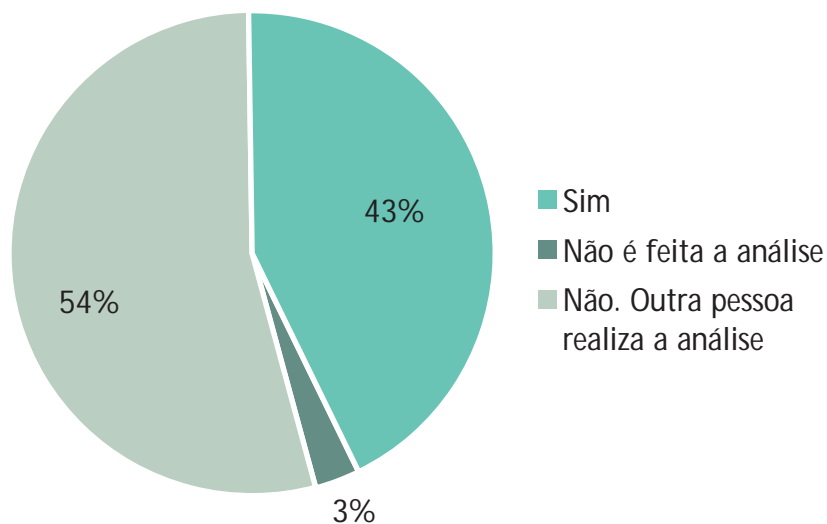
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 10 - Resposta sobre o envio do eletrodo em conjunto com o medidor. 63 usuários responderam à pergunta (68% dos 93 usuários que responderam "Sim" na questão da Figura 9).



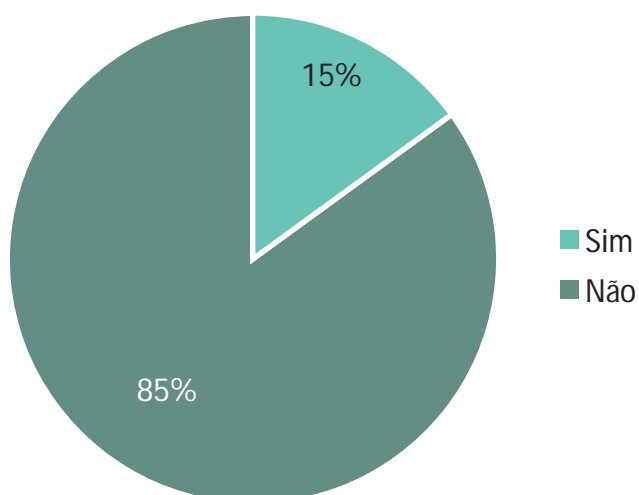
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 11 - Resposta se o usuário realiza a análise do certificado de calibração. 63 usuários responderam à pergunta (68% dos 93 usuários que responderam "Sim" na questão da Figura 9).



Fonte: elaborado pelo autor.

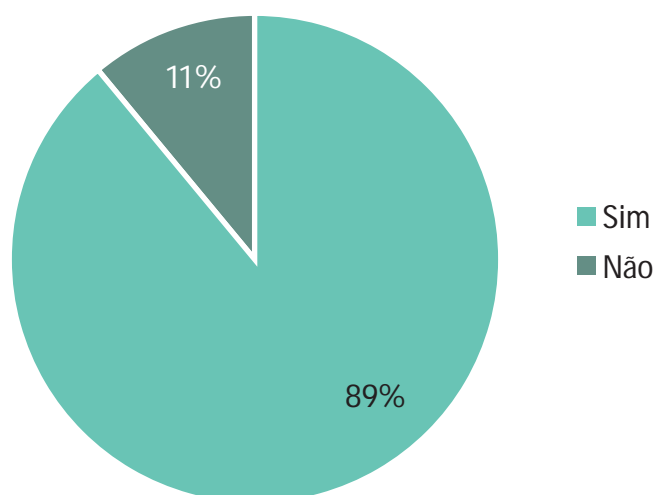
Figura 12 - Resposta se o usuário tem dificuldade em realizar a análise do certificado de calibração. 27 usuários responderam à pergunta (43% dos 63 usuários que responderam "Sim" na questão da Figura 11).



Fonte: elaborado pelo autor.

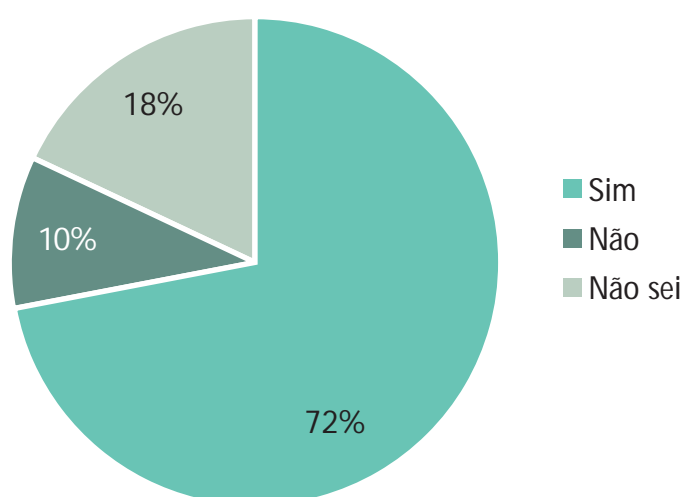
3.3 Material de referência

Figura 13 - Resposta se é utilizado material de referência antes do uso do equipamento. 93 usuários responderam à pergunta.



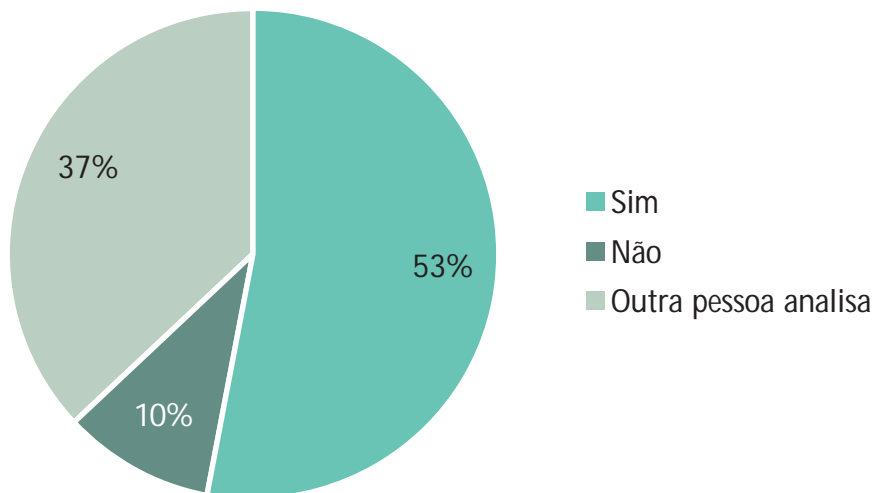
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 14 - Resposta se o material de referência é certificado. 83 usuários responderam à pergunta (89% dos 93 usuários que responderam "Sim" na questão da Figura 13).



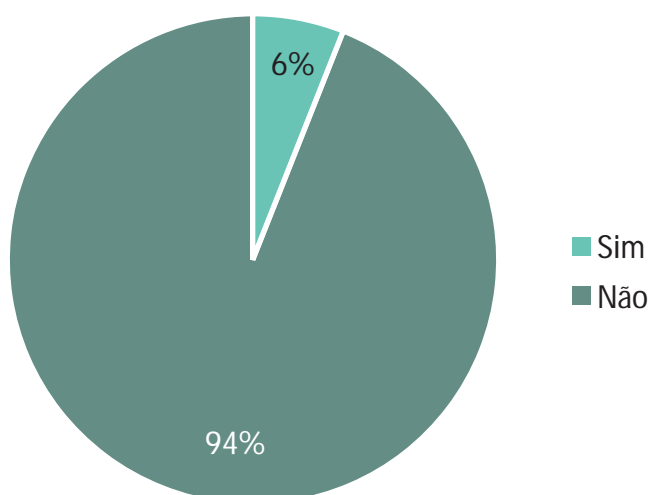
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 15 - Resposta se o certificado do material de referência é analisado. 60 usuários responderam à pergunta (72% dos 83 usuários que responderam "Sim" na questão da Figura 14).



Fonte: elaborado pelo autor.

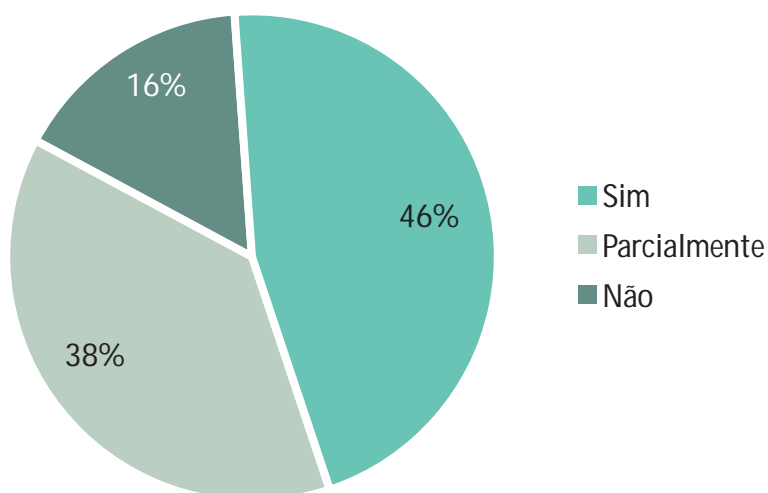
Figura 16 - Resposta se há dificuldade em analisar o certificado do material de Referência. 32 usuários responderam à pergunta (53% dos 60 usuários que responderam "Sim" na questão da Figura 15).



Fonte: elaborado pelo autor.

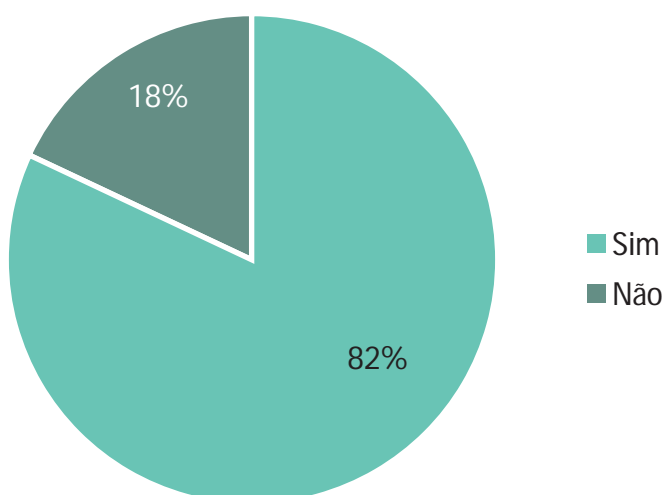
3.4 Capacitação

Figura 17 - Resposta se tem conhecimento e aplica, no seu dia-a-dia, conceitos como repetibilidade, reprodutibilidade, precisão, erro do instrumento e tolerância. 93 usuários responderam à pergunta.



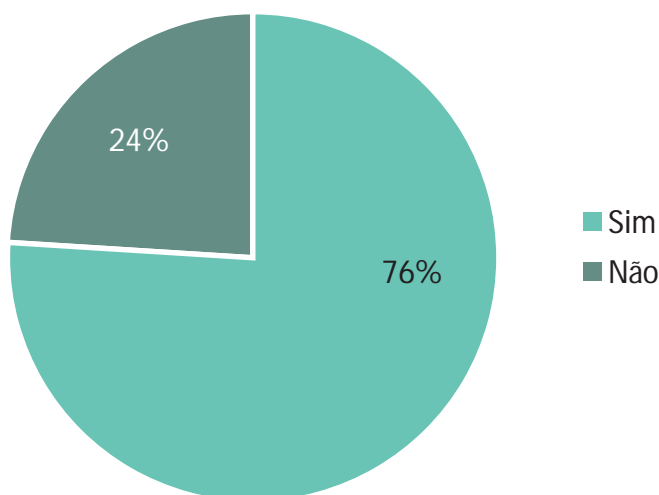
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 18 - Resposta sobre necessidade de aperfeiçoamento dos conhecimentos na área de estatística. 93 usuários responderam à pergunta.



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 19 - Resposta sobre necessidade de aprimoramento da capacitação para a tarefa de estimar incertezas de medição. 93 usuários responderam à pergunta.



Fonte: elaborado pelo autor.

4 Análise dos resultados

A pesquisa possibilitou avaliar as respostas de representantes da indústria, universidades, organizações estatais e de institutos de pesquisa de grande relevância para o mercado nacional. Ressalta-se a participação de representante da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp, que possui larga experiência com uso de equipamentos de físico-química para análise da qualidade da água de abastecimento do estado de São Paulo.

Segundo **Figura 5**, é notável que mais da metade dos respondentes (53 %) declara que não há necessidade de se estimar incerteza de medição. A estimativa da incerteza de medição é fundamental, pois, sem ela, qualquer medição perde seu valor, impossibilitando qualquer análise e, muito menos, uma tomada de decisão baseada no resultado. É importante salientar que, na nova revisão da ABNT NBR ISO 17025 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2017), a estimativa de incerteza torna-se essencial para qualquer atividade de laboratório, inclusive para ensaios, embora, não seja mandatário um rigor similar ao que é exigido em atividades de calibração.

Embora, não tenha sido o escopo deste trabalho, seria de relevância questionar aos usuários se os serviços prestados por eles são certificados pela ISO 9001 (Sistemas de Gestão da Qualidade) ou acreditados conforme a ISO/IEC 17025 – Requisitos Gerais para Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração. Esta pesquisa poderia corroborar sobre a relevância das normas na propagação das boas práticas laboratoriais, tais como a importância em estimar a incerteza de medição.

Por meio das Figuras 17, 18 e 19, pode-se estimar que o alto número de usuários que não estimam a incerteza de medição é resultado da necessidade de treinamento e capacitação, já que mais da metade não tem ou tem parcialmente conhecimento em estatística, 82 % assume que há necessidade de aperfeiçoamento nessa área, e 76 % declara a necessidade de capacitação para a tarefa de estimar a incerteza de medição. É interessante notar que, dos usuários que estimam incerteza de medição, menos da metade (45 %) declara que há dificuldade em estimar a incerteza (Figura 8).

Dos que estimam a incerteza, verifica-se que o maior motivo para esta atividade é devido a exigência de uma norma (43 %) e exigência do cliente (20 %). Somente 11 % informa que aumenta o valor do serviço prestado (Figura 6). A partir desse resultado, é possível inferir que a norma tem significativa importância para o aumento das boas práticas laboratoriais já que, sem ela, haveria o risco de menos usuários estimarem a incerteza, devido à falta de conhecimento de sua importância.

De acordo com a Figura 7, constata-se que somente 8 % dos usuários que estima a incerteza de medição utiliza um software comercial. Mais de 60 % utiliza o editor de planilhas da Microsoft (Excel). Cabe salientar que seria pertinente a disponibilidade de um software dedicado a esta finalidade, que pudesse simplificar a tarefa para os usuários, com o objetivo também de aumentar a agilidade na execução do serviço, tanto para os usuários que utilizam o Excel e, principalmente, os 20 % que realizam a atividade manualmente.

Com relação à calibração do equipamento de medição, verifica-se, por meio da Figura 9, que 68% dos respondentes envia seus equipamentos para calibração externa periodicamente, entretanto, o percentual de 32% (1 a cada 3, aproximadamente) que não envia o equipamento para calibração é expressivo. Isso pode ser decorrente de alguns fatores, tais como:

- 1) falta de entendimento da necessidade de envio do equipamento para calibração; ou
- 2) devido à calibração do equipamento ser realizada internamente pelo próprio usuário.

Caso ocorra a calibração interna pelo próprio usuário, seria pertinente questionar se o usuário tem o entendimento adequado para realizar a calibração e estimar a incerteza expandida da medição, por meio do uso de materiais de referência certificados e por uso de padrão elétrico para calibração somente do indicador.

Dos usuários que realizam a calibração periódica de seus equipamentos (Figura 10), é possível constatar que a grande maioria (84%) segue as recomendações da NIT-DICLA-022 (COORDENAÇÃO GERAL DE ACREDITAÇÃO, 2019), que sugere a calibração do conjunto indicado + eletrodo.

Pode-se inferir que os 14% que enviam somente o indicador, avaliam que não há necessidade de efetuar a calibração do indicador com eletrodo, já que há necessidade de que, a cada medição realizada com o equipamento, seja utilizado material de referência antes da atividade. De fato, verifica-se que 89% dos usuários utilizam material de referência antes do uso do equipamento (Figura 13), embora,

apenas 72% declarar que o material de referência seja certificado (Figura 14), enquanto que 18% dos respondentes não souberam informar se o material de referência é ou não certificado. Cabe ressaltar a importância do material de referência ser certificado, já que, por meio da certificação é possível ter maior garantia na qualidade do produto, rastreabilidade metrológica e confiabilidade metrológica nos resultados presentes no certificado.

Uma etapa crucial do processo de medição é analisar o certificado de calibração ou o certificado do material de referência. O certificado de calibração do equipamento e o certificado do material de referência não são analisados, respectivamente, por 3% e 10% dos respondentes (Figuras 11 e 15). Este número baixo é bastante positivo, já que, um certificado não analisado seria equivalente a um equipamento não calibrado, ou um material de referência não certificado.

Considerando que 15% dos usuários que analisam o certificado de calibração e 6% dos que analisam o certificado do material de referência possuem dificuldade na análise dos certificados (Figuras 12 e 16), é importante salientar que uma plataforma de gestão metrológica, bem como ações de capacitação direcionadas para estes usuários seria de enorme potencial, facilitando ainda mais a tarefa dos usuários e, possivelmente, aumentando a produtividade do serviço.

5 Conclusão

Medidores de pH e de condutividade, por serem amplamente utilizados e terem grande importância na entrega de produtos e serviços com qualidade assegurada, é necessário que haja uma gestão metrológica adequada por parte dos usuários desses equipamentos. O trabalho apresentou o resultado de uma pesquisa realizada com, aproximadamente, 100 usuários de medidores de pH e de condutividade, com o intuito de avaliar o grau de conhecimento dos usuários com relação aos fatores envolvidos com a metrologia.

Os resultados foram analisados, trazendo à tona algumas ações necessárias, tais como:

- aumentar a conscientização dos usuários com relação à necessidade de se estimar incerteza expandida da medição;
- treinamento e capacitação dos usuários desses equipamentos no que se refere a conceitos metrológicos, estatística e cálculo de incerteza;
- disponibilização de software de gestão metrológica e de cálculo de incerteza, que possa auxiliar o usuário às boas práticas laboratoriais.

Salienta-se que o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT tem atuado internamente no desenvolvimento de uma plataforma para Internet, que será disponibilizada livre

mente aos usuários desses equipamentos. O objetivo é servir como ferramenta metrológica, facilitando o trabalho de se calcular a incerteza de medição. Espera-se que, com esta nova ferramenta, mais usuários comecem a estimar a incerteza de medição adequadamente.

Adicionalmente, como parte do processo de desenvolvimento da nova solução, e considerando o conhecimento e experiência do IPT em metrologia, o Instituto tem a intenção de capacitar os usuários de medidores de pH e condutividade através da plataforma proposta. Nesta ação, programas de capacitação consagrados do IPT, tais como o curso de análise de certificado de calibração, cálculo de incerteza de medição ou fundamentos de metrologia, serão aplicados. Outras ações, como a coordenação de programa de ensaio de proficiência, estão sendo estudadas, como meio de avaliação da eficácia, tanto dos treinamentos quanto do próprio uso da plataforma.

6 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 17025: requisitos gerais para a competência de produtores de material de referência. Rio de Janeiro: ABNT, 2017a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 17034: requisitos gerais para a competência de produtores de material de referência. Rio de Janeiro: ABNT, 2017b.

AVRAMESCU, M. L. et al. Influence of pH, particle size and crystal form on dissolution behaviour of engineered nanomaterials. *Environmental Science and Pollution Research*, [s. l.], v. 24, p. 1553-1564, 2017.

COORDENAÇÃO GERAL DE ACREDITAÇÃO. Documento de caráter orientativo - Orientações para aplicação dos requisitos técnicos da ABNT ISO/IEC 17025 na Acreditação de Laboratórios de Calibração para o Grupo de Serviço de Físico-Química. CGCRE, 2019, rev. 3, 45 p.

INMETRO. Vocabulário internacional de metrologia (VIM): conceitos fundamentais e gerais e termos associados. 1ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Luso-Brasileira, 2012a, 93 p.

INMETRO. Guia para expressão da incerteza de medição – GUM. 1ª ed. Rio de Janeiro: Inmetro, 2012b. 141 p.

METTLER TOLEDO. A Guide to pH measurement: theory and practice of laboratory pH applications. Suíça: 2016. 60p.

REHMAN, R.; HALAI, M. Conceptual model of digital pH meter in telemedicine. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTI TOPIC, 14., 2011, Carachi. *Proceedings [...]*, Carachi: IEEE, 2011. v. 14, p. 87-89.

VUOLO, J. H. Fundamentos da teoria de erros. 2 ed. São Paulo: Blucher, 1996.

10.34033/2526-5830-v5n18-4



Artigo técnico

Sistema de fôrmas para lajes maciças de concreto armado: recomendações para emprego do sistema *deck*.

Formwork system for solid reinforced concrete slabs: recommendations for using the deck system.

Fernando Rodrigues Fernandes Júnior^{a*}, Eduardo Ioshimoto^b

a Mestre em Habitação:

Planejamento e Tecnologia, pelo IPT; Engenheiro Civil.

b Docente do Programa de

Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia, do IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológicas do Estado de São Paulo

E-mail: fernandofernande@uol.com.br

Palavras-chave:

deck; cimbramento; escoramento remanescente; fôrma; estrutura de concreto armado; laje plana.

Keywords:

deck; *shoring system*; *regrowth*; *formwork*.

Resumo

Este artigo apresenta um resumo das recomendações para o emprego do sistema de fôrmas tipo *deck*, quando o sistema estrutural é definido com lajes planas de concreto armado. Para estabelecer estas recomendações analisaram-se diversos aspectos, como o projeto arquitetônico, o sistema de fôrmas e o sistema estrutural, considerando coleta de informações junto aos intervenientes no processo de decisão e a trajetória profissional do autor, neste segmento de conhecimento. Para determinar o melhor sistema de fôrmas para um projeto, faz-se necessária a análise simultânea de todos os fatores apontados neste artigo e em outros trabalhos. Os profissionais da indústria da construção civil buscam a redução de custos, em especial da estrutura de concreto armado, que se obtém num processo de racionalização da obra. O projeto arquitetônico prevê, nesse caso, o sistema estrutural em lajes planas sem vigas, onde o sistema de fôrmas representa um alto custo e muitas vezes não recebe a atenção necessária. A utilização do sistema de fôrmas tipo *deck* é uma alternativa ao sistema de fôrmas convencional, que pode trazer vantagens, como maior produtividade em função das repetições no formato, principalmente em edificações de multipavimentos com maior versatilidade da arquitetura. Geralmente o projeto prevê grandes vãos entre os pilares, com poucas vigas, com geometria quadrada ou retangular concebida de acordo com as dimensões dos painéis do sistema *deck*. A racionalização do canteiro de obras dá-se em razão da utilização de equipamentos mais leves e adoção de mão de obra mais qualificada e produtiva. Todavia, a viabilidade econômica

da solução só pode ser determinada por meio de uma análise global de todos os fatores. Para estruturas recortadas, de geometria complexa e compostas por panos de lajes e vigas, o sistema convencional continua sendo a melhor solução.

Abstract

This article presents a summary of the recommendations for the use of the deck-type formwork system, when the structural system is defined with flat reinforced concrete slabs. To establish these recommendations, several aspects were analyzed, such as the architectural design, the formwork system and the structural system, considering the collection of information from those involved in the decision process and the author's professional trajectory in this segment of knowledge. To determine the best formwork system for a project, it is necessary to simultaneously analyze all the factors pointed out in this article and in other works. Professionals in the civil construction industry seek to reduce costs, especially in the reinforced concrete structure, which is obtained through a process of rationalization of the work. In this case, the architectural project foresees the structural system in flat slabs without beams, where the formwork system represents a high cost and often does not receive the necessary attention. The use of the deck-type formwork system is an alternative to the conventional formwork system, which can bring advantages, such as greater productivity due to format repetitions, especially in multi-floor buildings, with greater architectural versatility, due to the use of slabs flat. Generally, the project foresees large spans between the columns, with few beams, with square or rectangular geometry designed according to the dimensions of the deck system panels. more qualified and productive workforce. However, the economic feasibility of the solution can only be determined through a global analysis of all factors. For jagged structures, with complex geometry and composed of slabs and beams, the conventional system remains the best solution.

1 Introdução

Os profissionais ligados à indústria da construção civil são sempre desafiados a pesquisar soluções com o objetivo de minimizar custos e melhorar a qualidade; por isto, é possível observar uma significativa transformação no que se refere a projetos, processos construtivos, materiais, equipamentos e recursos humanos.

Nesse contexto, a competição no setor da Construção Civil vem promovendo uma elevada oferta de empreendimentos, com a constante busca pela redução de perdas de materiais e prazos de obras, maior controle tecnológico dos materiais, e pela incorporação do conceito de racionalização, visando alcançar maior lucro e competitividade.

As incorporadoras e construtoras procuraram atender ao apelo comercial por plantas flexíveis com a possibilidade de customização de uma planta de arquitetura, que se tornou um diferencial competitivo. Esta flexibilização pressupõe a utilização de grandes vãos de lajes, que induzem mudanças na concepção do projeto estrutural.

A conscientização pela importância da qualidade, a procura por um sistema de gestão que possa atender aos aspectos financeiros das empresas, às exigências dos clientes e às certificações do sistema estrutural empregado, tornaram-se realidade.

Uma obra é realizada por um conjunto de serviços e atividades, sendo todos interligados. Existe uma sequência lógica e as atividades relativas ao sistema de fôrmas são representativas na qualidade e no custo total da estrutura de concreto armado; representam algo em torno de 34 % do custo da estrutura, conforme dados fornecidos pelo site da Comunidade da Construção (2021), sendo que o material representa menos do que 10 % e a mão de obra representa algo em torno de 24 %.

Até a década de 1960 os projetistas de estruturas de concreto armado preocupavam-se com o concreto e com o aço, sendo o sistema de fôrmas uma atividade atribuída aos mestres de obra e encarregados de carpintaria; como resultado, o consumo de materiais e de mão de obra era superdimensionado. A partir da década de 1960, as tábuas utilizadas nas confecções de fôrmas começaram a ser substituídas por chapas de madeira compensada, e este foi o primeiro passo para o processo de racionalização do sistema de fôrmas, de acordo com Assahi (2000), tendo o Engenheiro Toshio Ueno (EPUSP-58) como precursor, o desenvolvimento deveu-se embasado nos conhecimentos da engenharia civil, complementado com as observações e experiências do dia-a-dia dos canteiros.

O objetivo principal, na época, era a otimização dos custos através da melhoria da produtividade e do menor consumo de materiais, com aumento no seu reaproveitamento.

A partir da década de 1980, os estudos acadêmicos sobre sistemas de fôrmas foram intensificados. Em novembro de 1986, o Departamento de Engenharia de Construção Civil, da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, realizou o II Simpósio Nacional de Tecnologia da Construção, que foi o primeiro passo para incentivar as construtoras na busca por novas tecnologias.

A economia brasileira experimentou na década de 1990 um significativo processo de abertura econômica, com a redução das barreiras às importações, onde se observou algumas tendências relacionadas à globalização, à busca por novas tecnologias e à redução no custo total da estrutura de concreto armado, no que se refere às fôrmas.

Nesse período, conforme observações feitas por Zorzi (2015) várias empresas estrangeiras especializadas em fôrmas e cimbramento passaram a atuar no país e as empresas nacionais que atuavam nessa área investiram em equipamentos e em novas tecnologias. Surgiram empresas especializadas na elaboração do projeto e na fabricação da fôrma e as construtoras preocupadas em evoluir tecnologicamente passaram a utilizar o projeto de produção de fôrma com relativa frequência. Além disso, surgiram empresas especializadas na execução de estruturas de concreto e na utilização de procedimentos pa-

dronizados para a montagem, desforma e verificações do sistema de fôrma. Os projetistas começaram a preocupar-se em como realizar o lançamento estrutural de modo a, adicionalmente ao desempenho da estrutura, encontrar soluções que também racionalizassem a sua execução e, por fim, ocorreu um maior investimento e qualificação da mão de obra de produção.

Ao analisar o processo de globalização e a entrada de empresas estrangeiras especializadas em fôrmas e cimbramento, no Brasil e nos últimos anos, pode-se apresentar um breve histórico, desde o surgimento destas empresas até os dias atuais.

O término da Segunda Guerra Mundial em 1945 e o subsequente desenvolvimento industrial impulsionaram o desenvolvimento dos sistemas de fôrmas e cimbramento metálico com torres metálicas nos Estados Unidos e na Europa e, em 1952, há registro do uso no Brasil.

O presente artigo abordará o sistema estrutural em lajes planas e apresentará o sistema de fôrmas denominado tipo deck, que passou a ser comercializado no Brasil, na última década do século XX.

Dessa forma, o objetivo desse artigo é estabelecer recomendações para o emprego de um sistema de fôrmas, denominado no mercado nacional por sistema deck, que é composto por painéis modulares, estruturados em alumínio e sustentados por escoras metálicas, para a execução de lajes maciças de concreto armado.

O desenvolvimento desse artigo junta-se à trajetória profissional do autor, que observa uma presença tímida de contribuições acadêmicas em temas relacionados ao sistema de fôrmas tipo deck. Este ponto merece ser ressaltado, pois a bibliografia nacional está vinculada aos manuais técnicos e sites das empresas fornecedoras de equipamentos.

Para estabelecer recomendações para o emprego de um sistema de fôrmas é necessário analisar diversos aspectos, desde a influência do projeto arquitetônico na definição do sistema estrutural em lajes planas, como a influência do sistema estrutural na escolha do sistema de fôrmas.

A busca pela redução de custos da estrutura de concreto armado não se obtém apenas com a redução do custo do sistema de fôrmas. A redução se consegue por meio de um processo de racionalização da obra, com a análise do projeto arquitetônico, planejamento das atividades, compatibilização do consumo de materiais, emprego de equipamentos adequados e qualificação da mão de obra.

2 Procedimento metodológico

Inicialmente foi realizada uma revisão da bibliografia, considerando livros, artigos científicos, resenhas e documentos da área da Engenharia Civil, vinculados ao tema de sistemas de fôrmas e sistemas estruturais em lajes planas, etapa que mostrou a carência de estudos sobre o objeto da pesquisa. Foram identificados também, documentos e normas técnicas; documentos elaborados por empresas do setor. Certamente, a experiência profissional do autor imprime aos dados coletados uma leitura contextualizada e particular, pois trabalhou como engenheiro de projetos e supervisor de obras, nos últimos vinte e oito anos em empresas de sistemas de fôrmas.

A análise do detalhamento dos arremates do sistema de fôrmas deck e a coleta das informações junto aos intervenientes no processo de decisão fizeram parte do procedimento metodológico.

3 Sobre os sistemas

3.1 Sistema de fôrmas

3.1.1 A importância do sistema de fôrmas

Para a execução de um edifício multipavimentos em estrutura de concreto armado é necessário utilizar um conjunto de elementos construtivos, que são removidos posteriormente, pois são estruturas provisórias. A este conjunto de elementos dá-se o nome de sistemas de fôrmas.

Além disto, estudo realizado na década de 1980 não considerava o emprego de sistemas de fôrmas racionalizadas e apontava para um custo do sistema de fôrmas em torno de 40 % a 60 % do custo total da estrutura de concreto.

A grande importância das fôrmas é evidente, porém por se tratar de uma etapa de alto custo da construção civil, que não fica incorporado ao produto final (o imóvel), as fôrmas muitas vezes não recebem a atenção necessária.

Freire (2001) define sistema de fôrmas como:

Um conjunto de componentes, combinados em harmonia, com o objetivo de atender às funções de:

- moldar o concreto;
- conter o concreto fresco e sustentá-lo até que tenha resistência suficiente para se sustentar por si só;
- proporcionar à superfície do concreto a textura requerida;

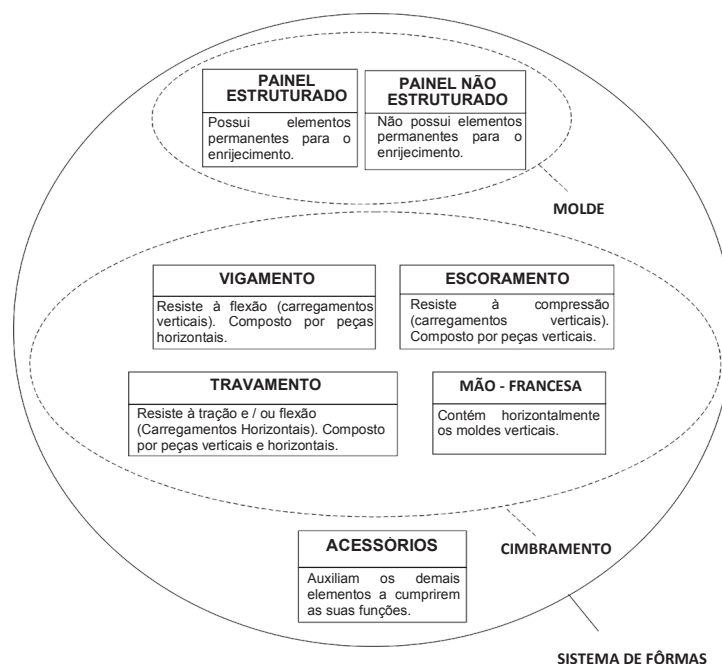
- servir de suporte para o posicionamento da armação, permitindo a colocação de espaçadores para garantir os cobrimentos;
- servir de suporte para o posicionamento de elementos das instalações e outros itens embutidos;
- servir de estrutura provisória para as atividades de armação e concretagem, devendo resistir às cargas provenientes do seu peso próprio, além das de serviço, tais como pessoas, equipamentos e materiais;
- proteger o concreto novo contra choques mecânicos; e
- limitar a perda de água do concreto, facilitando a cura.

Em virtude da diversidade de sistemas de fôrmas existentes no mercado nacional, cada empresa fornecedora adota um nome específico para os seus componentes. Neste trabalho, será adotada a nomenclatura sugerida por Freire (2001), que divide e classifica os elementos do sistema de fôrmas em três partes:

- Molde: É a parte do sistema que dá a forma à peça, entrando em contato com a superfície do concreto. Normalmente é composto por painéis, que podem ser estruturados ou não. Os painéis estruturados são os que possuem peças complementares para o enrijecimento fixadas permanentemente; já os não estruturados não possuem nenhum elemento fixado permanentemente.
- Cimbramento: É o conjunto de elementos que absorve ou transfere para um local seguro as cargas que atuam nas fôrmas. Pode ser dividido em quatro grupos:
 - Escoramento: peças verticais sujeitas aos esforços de compressão;
 - Vigamento: peças horizontais sujeitas a esforços de flexão originados por carregamentos verticais;
 - Travamento: peças verticais ou horizontais sujeitas a esforços de tração e/ou flexão originados por carregamentos horizontais; e
 - Mãos-francesas: peças inclinadas para contenção horizontal.
- Acessórios: É o conjunto de peças que auxiliam o desempenho das outras.

Para ilustrar estes elementos, Freire (2001) apresenta os elementos constituintes do sistema de fôrmas e suas respectivas funções, conforme a **figura 1**:

Figura 1 - Elementos constituintes do sistema de fôrmas e suas respectivas funções.



Fonte: Freire (2001).

3.2 O sistema estrutural

3.2.1 A escolha do sistema estrutural.

A escolha do sistema estrutural deve ser sustentada pela análise criteriosa dos requisitos esperados como o tempo de execução de lajes, a espessura das lajes e os vãos típicos da laje, detalhados a seguir.

É na fase inicial de planejamento que os intervenientes no processo – construtoras e incorporadoras; escritórios de projetos de estruturas em concreto armado e protendido e responsáveis de empresas fornecedoras de mão de obra, definem o partido estrutural e posteriormente o sistema de fôrmas a ser empregado no empreendimento.

A análise do tempo de execução de lajes é um dos requisitos para a escolha do partido estrutural, pois todas as etapas construtivas subsequentes dependerão deste pré-estudo e definição. Outro fator importante a ser analisado é a espessura das lajes em função do tipo de sistema estrutural, pois esta escolha influenciará no volume de concreto a ser utilizado no empreendimento. A partir do sistema estrutural proposto, pode-se definir os vãos típicos da laje.

Pode-se afirmar que a partir da escolha do sistema estrutural é que se determina o sistema de fôrmas, e para o emprego do sistema de fôrmas deck é recomendado o sistema estrutural em lajes planas, ou sistema estrutural em lajes planas protendidas.

Os projetistas de estruturas que defendem a utilização das lajes planas apontam como grande vantagem a liberdade de disposição das paredes divisórias, ganho no pé direito dos andares, economia no uso de fôrmas e, até mesmo, no volume de concreto, o que reduz significativamente o custo final da estrutura.

Os especialistas que têm uma posição mais crítica sobre o assunto alertam para os cuidados que devem ser tomados em dois pontos fundamentais: os problemas de punção e de estabilidade global. Com isso, a utilização das lajes planas continua sendo motivo de controvérsias entre os projetistas de estruturas, quanto a sua viabilidade técnica e econômica.

A crescente aplicação de lajes planas em estruturas de edifícios deve-se basicamente a dois motivos:

- a) exigência de estruturas com a execução mais simples, rápida, com redução de custos e melhor desempenho funcional, permitindo que se tenham ambientes mais confortáveis e personalizados;
- b) maior facilidade na elaboração de projetos com lajes planas, em virtude do desenvolvimento de programas avançados de cálculo estrutural, que utilizam análise por Elementos Finitos e Analogia de Grelha.

A solução de lajes planas tem sido cada vez mais utilizada nos pavimentos de edifícios, principalmente em virtude de diversas vantagens que o sistema apresenta se comparado aos sistemas estruturais convencionais compostos de lajes, vigas e pilares.

3.3 Sistema de fôrmas *deck*

O sistema de fôrmas *deck* foi projetado para a utilização em sistemas estruturais de lajes planas, em edificações multipavimentos, residenciais ou comerciais, de pequeno a médio porte.

O sistema é composto por painéis modulares, estruturados em alumínio, e o contato com o concreto é feito por chapa compensada plastificada, fixada à estrutura dos painéis. Os painéis são sustentados por escoras com cabeças especiais *Drophead*^a, que permitem a desenfôrma dos painéis mantendo a laje escorada. Tal mecanismo possibilita a retirada e o reaproveitamento de toda fôrma dos panos de laje em apenas um dia após a execução da concretagem, dependendo do concreto e do ciclo entre lajes adotado. A **fotografia 1** apresenta o posicionamento do *Drophead* para o recebimento de carga e a **fotografia 2** o *Drophead* na posição final:

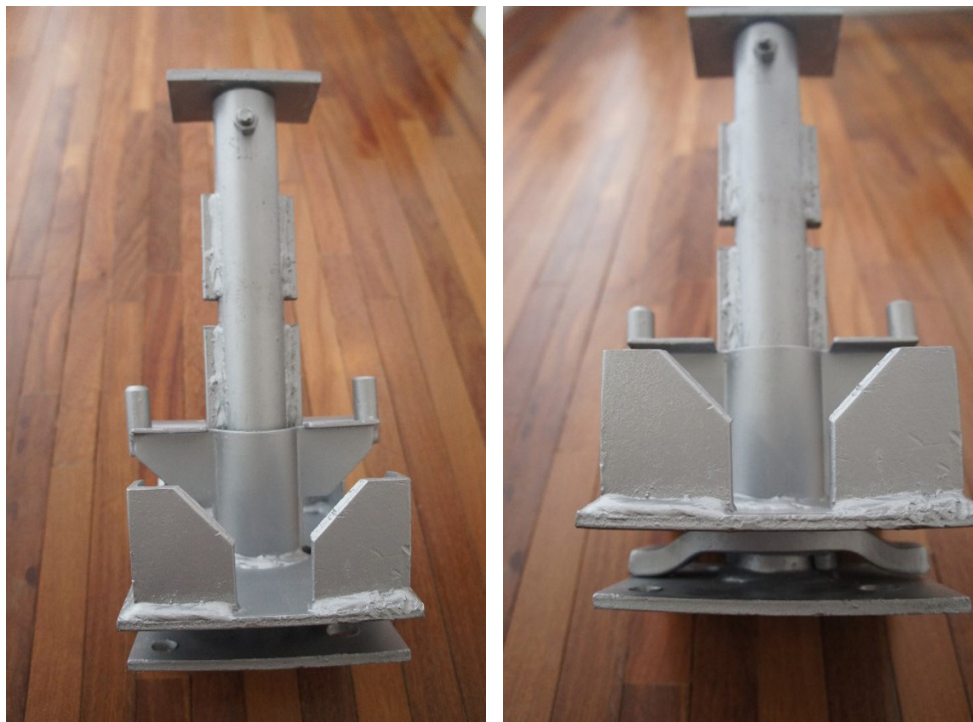
^a É um tipo de suporte apoiado em escoras metálicas, que têm a função de sustentar os painéis de alumínio e que será detalhado posteriormente.

Fotografia 1 - *Drophead* posicionado para recebimento de carga



Fonte: Fernandes Júnior (2020).

Fotografia 2 - *Drophead* com a cabeça descida na posição final.



Fonte: Fernandes Júnior (2020).

3.3.1 Sequência de montagem do sistema de fôrmas deck.

Os painéis possuem baixo peso, pois são fabricados em alumínio e o transporte dos seus módulos torna-se mais fácil, gerando rapidez e agilidade na montagem e desmontagem, proporcionando maior produtividade e conseqüente economia de mão de obra. As fotografias 3, 4 e 5 apresentam a seqüência de montagem do sistema de fôrmas *deck*:

Fotografia 3 - Colocação dos painéis modulares em alumínio, revestidos com chapa compensada plastificada.



Fonte: SH Fôrmas (2020)

Fotografia 4 - Os painéis são apoiados no suporte deck e a montagem é simplificada.



Fonte: SH Fôrmas (2020)

Fotografia 5 - Observar que o profissional consegue fazer a montagem sozinho, pois ele posiciona um apoio temporário, para posteriormente posicionar a escora com o suporte.



Fonte: SH Fôrmas (2020)

As fotografias 6, 7 e 8 apresentam a utilização do sistema de fôrmas deck em obras diversas:

Fotografia 6 - Sequência de montagem do sistema drophead, com encaixe do conjunto escora mais *drophead* na viga principal, lançamento e encaixe dos painéis.



Fonte: Mills (2019).

Fotografia 7 - Carrinho para o transporte dos painéis e fôrma da laje montada com todas as peças de escoras, drophead, vigas e painéis metálicos formando o conjunto do cimbramento da laje.



Fonte: Mills (2019).

Fotografia 8 - Retirada dos painéis metálicos com o reescoramento já em funcionamento e laje reescorada com a parte superior do *drophead*.



Fonte: Mills (2019).

3.3.2 Vantagens do Sistema de Fôrmas Deck.

O sistema de fôrmas deck é considerado uma boa opção para lajes de grandes áreas planas e para pé direito de até 4,25 metros. Este pé direito é determinado pela resistência da escora metálica, um dos elementos de sustentação do sistema de fôrmas deck.

Por ser de alumínio, é leve e permite rapidez e eficiência no transporte (horizontal e vertical), bem como, na montagem e desmontagem dos equipamentos. Não requer uma grande área em canteiro de obras para seu armazenamento e os painéis podem ser organizados em carrinhos, que possibilitam sua paletização, permitindo maiores espaços de circulação e maior velocidade para transporte horizontal e vertical na obra. Além disso, esta forma de armazenamento não provoca danos nas extremidades dos painéis, bem como na chapa de compensado, que mantêm o contato com o concreto.

Com relação à segurança do trabalho, para pé direito comum, o sistema deck pode ser montado direto no chão, sem necessidade de subir em andaimes ou expor operários aos riscos de acidentes de trabalho. A montagem não requer grande quantidade de mão de obra, pois o volume de equipamentos envolvido no sistema é pequeno e isso faz com que os custos diretos do empreendimento sejam reduzidos. O sistema permite a montagem dos painéis para as lajes sem o uso de ferramentas especiais e sem a necessidade de cortes de madeira, promovendo um canteiro de obras mais limpo. A qualidade do acabamento da estrutura é um diferencial, devido à chapa de compensado especial utilizada nos painéis de alumínio.

Apresentam grande produtividade quando aplicados de maneira adequada, e estima-se que o índice de produtividade da mão de obra em situações típicas de projeto seja de 0,30 homens hora por m², índice divulgado pelas empresas fornecedoras do sistema de fôrmas deck.

3.3.3 Desvantagens do sistema de fôrmas deck.

O sistema de fôrmas deck não é indicado para estruturas que possuem lajes com pequenas dimensões e vigas, que são executadas simultaneamente, pois necessita de arremates complementares de madeira. Isto dificulta a montagem e, portanto, o índice de produtividade da mão de obra é inferior ao encontrado em lajes planas, para a qual o sistema é mais adequado.

As obras que possuem um cronograma longo, ou seja, obras muito lentas, não aproveitam a alta produtividade do sistema e, fazendo uma análise do custo-benefício, o sistema torna-se inviável.

A locação simples do sistema de fôrmas deck tem um custo elevado, se comparado ao sistema de fôrmas em torres convencionais, porém esse custo deve ser contrabalanceado pela redução na despesa com mão de obra; portanto, deve-se fazer uma análise de viabilidade econômica, comparando os diversos sistemas de fôrmas.

4 Resultados e discussão

4.1 Resumo das recomendações sob a ótica do autor.

Quadro 1 - Resumo das Recomendações sob a ótica do Autor.

Quadro resumo das recomendações sob a ótica do autor	
Fatores	Utilização do sistema de fôrmas <i>deck</i>
Sistema Estrutural	O Sistema Estrutural definido para o empreendimento: lajes planas sem vigas, com ou sem protensão. O uso do sistema de fôrmas <i>deck</i> é recomendado, pois os vãos entre os pilares são de 4 a 10 metros para as lajes planas sem vigas e os vãos entre os pilares são de 6 a 14 metros para as lajes planas sem vigas pós tensionadas. O uso do sistema de fôrmas <i>deck</i> é recomendado para lajes com espessuras variáveis de 20 cm a 25 cm.
Geometria da Edificação	A Geometria da Edificação definida para o empreendimento: quadrada ou retangular. O uso do sistema de fôrmas <i>deck</i> é recomendado para empreendimentos com repetições verticais ou repetições horizontais.
Espessura da Laje	O uso do sistema de fôrmas <i>deck</i> é recomendado para lajes com espessuras variáveis de 20 cm a 25 cm.
Canteiro de Obras	O uso do sistema de fôrmas <i>deck</i> é recomendado para obras com limitação de espaços para a implantação do canteiro de obras. O sistema contempla a utilização de escoras metálicas e painéis de alumínio, que possibilitam a sua paletização. Quando são utilizados os sistemas de cimbramento convencional, o canteiro de obras requer um espaço maior para o armazenamento das peças (torres, vigas, sapatas e forçados ajustáveis).
Fator de Fôrmas	O Fator de Fôrma tem a função de determinar o grau de dificuldade do sistema de fôrmas, ou seja, é um número representado pela área de contato de fôrma dividido pela área de projeção do pavimento. O número ideal é 1 e quanto maior for o número, maior a dificuldade de realização do sistema de fôrmas
Cimbramento mais leve	O uso do sistema de fôrmas <i>deck</i> é recomendado para empreendimentos com pé direito de até 4,25 m. Normalmente, o pé direito dos empreendimentos residenciais varia de 2,70 m a 2,90 m e dos empreendimentos comerciais varia de 3,20 m a 3,60 m, portanto a utilização de escoras metálicas atende às especificações de altura. As torres metálicas são substituídas pelas escoras metálicas, suportes e painéis de alumínio. Com isto, o cimbramento será mais leve e mais produtivo, pois serão utilizadas escoras metálicas, com capacidade de carga axial de 3 toneladas e com aberturas variáveis de 2,25 m a 4,25 m. A montagem é executada, sem a necessidade de andaimes auxiliares.

Quadro resumo das recomendações sob a ótica do autor (continuação)	
Fatores	Utilização do sistema de fôrmas <i>deck</i>
Arremates no Sistema de Fôrmas <i>Deck</i>	Os Arremates no Sistema de Fôrmas Deck devem ser evitados e ocorrem pelo fato de os projetos estruturais de lajes terem tamanhos diversos, não compatíveis com os tamanhos dos painéis existentes no mercado nacional. Para os arremates é necessário um projeto de fôrmas detalhado.
Produtividade	A Produtividade esperada com o uso do sistema de fôrmas deck, pode variar de 0,30 a 0,45 homens por hora por m ² . Para o sistema de fôrmas convencional, a produtividade esperada é de 1,00 homem por hora por m ² . Estas informações podem ser obtidas nos sites das empresas fornecedoras dos sistemas de fôrmas.
Velocidade de Execução	O uso do sistema de fôrmas deck é recomendado para obras multipavimentos, com repetições no formato (verticalização ou horizontalização), possibilitando uma maior velocidade de execução, em função da produtividade do sistema.
Escoramento ou Cimbramento	O Sistema Estrutural, somado à Geometria da Edificação e utilização do sistema de fôrmas deck, possibilita a utilização dos equipamentos nos limites de resistência, para a qual foram dimensionados. As empresas fornecedoras do sistema desenvolvem os projetos técnicos para todo o empreendimento e conseqüentemente, esta etapa construtiva, que representa um alto custo e que não fica incorporado ao produto (o imóvel), passa a receber a atenção necessária.
Reaproveitamento do Sistema de Fôrmas	Os painéis de alumínio utilizados no sistema de fôrmas <i>deck</i> possuem uma chapa de compensado que tem uma durabilidade média de 25 usos, maior quando comparado com o sistema de fôrmas convencionais, que tem uma durabilidade média de 15 usos, em função do desgaste e manuseio.

Fatores	Sistema de fôrmas <i>deck</i> SISTEMA DE FÔRMAS DECK
Estanqueidade do Sistema <i>Deck</i>	Ao contratar a empresa fornecedora do sistema de fôrmas deck é importante verificar a qualidade dos equipamentos fornecidos, a fim de garantir a estanqueidade das fôrmas. Os painéis utilizados no sistema de fôrmas deck recebem vedação entre o perfil de alumínio e a chapa de compensado.
Processo Executivo do Sistema de Fôrmas <i>Deck</i>	O Processo Executivo é simplificado, pois os painéis são de alumínio (leve); o uso de escoras metálicas em substituição às torres metálicas; a possibilidade de deixar faixas de reescoramento com a utilização do suporte drophead. Estas características somadas ao Sistema Estrutural, reforçam a utilização do sistema de fôrmas <i>deck</i> .

Fonte: Autor (2021).

5 Conclusões

Para estabelecer estas recomendações, os autores analisaram diversos aspectos, desde a influência do projeto arquitetônico na definição do sistema estrutural em lajes planas, até a influência do sistema estrutural na escolha do sistema de fôrmas.

Os profissionais da indústria da construção civil buscam a redução de custos, em especial da estrutura de concreto armado. O sistema de fôrma, muitas vezes não recebe a atenção necessária, mas é um item representativo, pois é constituído de uma estrutura provisória, de alto custo, que não fica incorporada ao produto (o imóvel). A redução de custos na indústria da construção civil se obtém, num processo de racionalização da obra, com a análise do projeto arquitetônico, planejamento das atividades, otimização do consumo de materiais, emprego de equipamentos com tecnologia e qualificação da mão de obra.

A utilização do sistema de fôrmas deck é uma alternativa ao sistema de fôrmas convencional, e percebe-se que, para estruturas recortadas, de geometria complexa e compostas por panos de lajes e vigas, o sistema convencional continua sendo a melhor solução. Já para estruturas com poucas vigas, com geometria quadrada ou retangular, concebidas de acordo com as dimensões dos painéis do sistema deck, esta alternativa pode trazer inúmeras vantagens, como: a racionalização do canteiro de obras; utilização de equipamentos mais leves; utilização de mão de obra mais qualificada e produtiva, que permitirão uma redução no custo global da obra.

Com relação à qualificação profissional, pode existir uma barreira inicial ao uso do sistema de fôrmas deck, pois será exigida mão de obra especializada.

A experiência profissional do autor, que atuou como engenheiro projetista de sistemas de fôrmas e supervisor de obras de cimbramento e fôrmas, nos últimos vinte e oito anos, aponta que muitas construtoras manterão o sistema de fôrmas convencional, em função da tradição ou medo de mudança e, por isso, o sistema de fôrmas deck será um sistema alternativo.

Conclui-se que não há como determinar o melhor sistema de fôrmas para um projeto se não forem analisados simultaneamente todos os fatores apontados neste artigo.

6 Agradecimentos

Agradecemos a todos os professores, mestres e doutores que contribuíram com sugestões e informações bibliográficas, leitura e apontamentos de detalhes para a melhoria contínua do trabalho de pesquisa que gerou este, entre eles, o Prof. Dr. Claudio Mitidieri, o Prof. Dr. Ricardo França, o Prof. Ms. Antônio Soares Cervila, o Prof. Dr. Hermes Fajersztajn, o Prof. Dr. Júlio Cesar Sabadini de Souza e em especial ao meu orientador Prof. Dr. Eduardo Ioshimoto.

Agradeço aos engenheiros e às empresas, não citadas aqui nominalmente, pela atenção dada nas entrevistas, com relatos importantes e fornecimento de dados.

Destaco a importância do IPT, de todos os professores do Programa de Mestrado Profissional em Habitação e profissionais da secretaria, sempre tão atenciosos e prestativos.

7 Referências

ASSAHI, P. N. Sistema de fôrma para estruturas de concreto. São Paulo. [s.n.]. 2000. Boletim Técnico.

COMUNIDADE DA CONSTRUÇÃO. Estrutura de concreto: 2020. Disponível em: <http://www.comunidadeconstrucao.com.br/sistemas-construtivos/3/tipologias/viabilidade/38/tipologias.html>>. Acesso em 23 out.2020

FAJERSZTAJN, Hermes. Fôrmas para concreto armado: aplicações para o caso do edifício. Tese (Doutorado). São Paulo, EPUSP, 1987.

FERNANDES JÚNIOR, F. R. Sistema de fôrmas para lajes maciças de concreto armado: Recomendações para emprego do Sistema Deck. 100f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia, IPT. São Paulo. 2020. 100p.

FREIRE, T. M.; SOUZA, U. E. L. de. Classificação dos sistemas de fôrmas para estruturas de concreto armado. Universidade de São Paulo – Escola Politécnica, 2001. (Boletim Técnico n. 296).

MILLS ESCORAMENTOS E ANDAIMES. Catálogo de equipamentos – Sistema Deck. Rio de Janeiro, 2019.

SH FÔRMAS, ESCORAMENTOS E ANDAIMES. Catalogo de equipamentos. Rio de Janeiro, 2020.

SOUZA, P. A. Sistema de fôrmas para estruturas de concreto armado: comparação entre os sistemas de fôrmas convencional e Topec SH para lajes maciças. 2016. 50 f. Monografia (Especialização em Produção e Gestão do Ambiente Construído) – Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Cap. 2.

TAKEYA, T. et al. Recomendações para o projeto e a execução da estrutura em lajes – cogumelo pertencentes às UBS do plano metropolitano de saúde. São Carlos, EESC – USP. 1985.31p. Relatório.

ZORZI, A. C. Sistemas de fôrmas para edifícios. 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2015. 193 p.

10.34033/2526-5830-v5n18-5



IPT

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Av. Prof. Almeida Prado, 532

Cidade Universitária - Butantã - São Paulo - SP

CEP 05508-901

Central de Relacionamento com o Cliente

(11) 3767-4102/ 4456 / 4091

ipt@ipt.br

www.ipt.br

Redes Sociais

twitter.com/@ipt

youtube.com/IPTbr

facebook.com/iptsp

instagram.com/ipt_oficial



| Secretaria de Desenvolvimento Econômico