

REVISTA

IPT

Tecnologia
e inovação

14

ipt[®]
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

Agosto/2020



APOIO TECNOLÓGICO

Oito estudos de caso do programa de auxílio aos municípios paulistas que completa 30 anos

COMBUSTÃO INDUSTRIAL

Emissão de óxidos de enxofre pode ser reduzida por atuação direta no combustível fóssil ou com instalação de sistemas nas chaminés

LEGISLAÇÃO PARA PALETES

Estudo faz revisão das normas brasileiras e comparação em relação à série de normas ISO 8611

v. 4, n. 14, ago., 2020



REVISTA IPT | Tecnologia e Inovação

v.4, n.14, agosto, 2020

Quadrimestral

Editores-chefes

Andreia Longuinho da Silva

Eduardo Luiz Machado

Zehbour Panossian

Conselho Editorial

Ester Garcia Ferreira da Silva

Hamilton Lelis Ito

Maria Natalina Martins

Assistentes Editoriais

Augusto Max Colin

Bruno D. Francisco da Silva

João Antonio Rodrigues Garcia

Luiz Silvano

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:
Zehbour Panossian

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

ISSN 2526-5830

#14

Revista IPT:
Tecnologia
e inovação

Artigos técnicos

SUMÁRIO

p.06	PATEM – 30 anos de apoio tecnológico aos municípios paulistas
p.22	Medição do raio médio de uma circunferência utilizando técnicas de processamento de imagem
p.35	Pré-tratamento da palha de cana-de-açúcar: avaliação do potencial dos processos de torrefação e lixiviação para remoção de contaminantes
p.57	<i>A rapid and effective method for determination of ethanol content in hand sanitizers (alcohol gel)</i>
p.65	Emissão de óxidos de enxofre (SO _x) na combustão industrial
p.77	Caracterização de carregamentos de campo sobre sistema fluvial de contenção de detritos
p.90	Normas Brasileiras e Normas ISO para Paletes: Uma Reflexão

TECNOLOGIA EM DIVERSAS FRENTES



Jefferson de Oliveira Gomes
Diretor-Presidente do IPT

Chegamos à décima quarta edição da 'Revista IPT, Tecnologia e Inovação'. Sete artigos técnicos foram selecionados, apresentando tecnologias nas linhas de frente dos municípios paulistas, acústica, cálculo, energias limpas, cargas e insumos contra a Covid 19, entre outros temas de grande interesse e atualidade.

Abre esta edição o artigo "Patem – 30 anos de apoio tecnológico aos municípios paulistas", de Luiz Carlos Tanno, Tatiana Orfali Sanches Mestres, Alex Fedozzi Vallone, Elisa Lima Villamea Cotta, da GPP/DIN/IPT. Criado em 1989 no âmbito da atual Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo, o programa é executado em parceria com o Instituto.

Em "Medição do raio médio de uma circunferência utilizando técnicas de processamento de imagem", Gabriel Borelli Martins e Marcelo Tadao Saita, do CTMetro/IPT, apresentam medição do raio de uma circunferência impressa utilizando técnicas de processamento digital de imagens com biblioteca OpenCV.

No artigo "Pré-tratamento da palha de cana-de-açúcar: avaliação do potencial dos processos de torrefação e lixiviação para remoção de contaminantes" os autores Vittor Rodrigues Santos Alves, pela FIPT, Ademar Hakuo Ushima e Crisley de Souza Peixoto do CTMNE/IPT, discutem o uso do bagaço para a obtenção de energia elétrica a partir da queima nos ciclos de cogeração.

"A rapid and effective method for determination of ethanol content in hand sanitizers (alcohol gel)", artigo de João Paulo Amorim de Lacerda e Sandra Souza de Oliveira do CQUIM e Amanda Marcante, também do CQUIM e mestre pelo IPT, apresenta método rápido de análise das concentrações de etanol para higienizar as mãos em meio à pandemia. Somente em inglês.

No artigo "Emissão de óxidos de enxofre (SOX) na combustão industrial" o autor Renato Vergnhanini Filho, do CTMNE/IPT, discute as reduções das emissões por meio da atuação no combustível ou instalação de sistemas para 'dessulfuração' nas chaminés industriais.

Artigo intitulado "Caracterização de carregamentos de campo sobre sistema fluvial de contenção de detritos", de Rynaldo Zanotele Hemerly de Almeida e João Carlos Sávio Cordeiro, do CTMNE/IPT, e Luiz Eduardo Lopes, da Poli/USP, focaliza o uso de contentores de troncos (log booms) para proteção de pilares e entradas de água em turbinas hidrelétricas.

Finaliza esta edição o artigo "Normas Brasileiras e Normas ISO para Paletes: Uma Reflexão", de autoria de Marco Antonio Grecco D'Elia e Maria Luiza Otero D'Almeida, do CTFloresta/IPT; Rogério Parra, da GGQ/IPT; e Mara Lúcia Siqueira Dantas (in memoriam). Propõe que a estrutura do palete, ao mesmo tempo versátil e complexa, tenha o desempenho determinado por ensaios normalizados e que permitam avaliar sua qualidade em múltiplos usos.

Boa leitura!

PATEM – 30 anos de apoio tecnológico aos municípios paulistas

PATEM – 30 years of technological support to the municipalities in the state of São Paulo

Luiz Carlos Tanno^{a*}, Tatiana Orfali Sanches Mestres^a,
Alex Fedozzi Vallone^a, Elisa Lima Villamea Cotta^a

^a Gerência de Parcerias Públicas,
Diretoria de Inovação e
Negócios, Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São
Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: tanno@ipt.br

Palavras-chave:
municípios; apoio tecnológico;
PATEM; prefeitura.

Keywords:
*municipalities; technological
support; PATEM; public policy.*

Resumo

O Programa de Apoio Tecnológico aos Municípios (PATEM) foi criado em abril de 1989, no âmbito da atual Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado de São Paulo (SDE e, desde então, é executado em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT). A origem do PATEM encontra-se ligada ao objetivo do Governo do Estado de São Paulo (GESP) de sistematizar o atendimento às demandas de conteúdo tecnológico apresentadas continuamente pelas prefeituras municipais às autoridades estaduais. Aproveitando os 30 anos de existência do PATEM, foi feito um balanço da atuação do Programa por meio de oito estudos de caso, para avaliar o impacto nos municípios dos estudos realizados pelo IPT. Para essa avaliação, contou-se com a participação de 11 graduandos em Gestão de Políticas Públicas pela Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP) por meio da empresa júnior Vertuno. Para essa avaliação, foram realizadas entrevistas *in loco* com os gestores municipais e responsáveis pela implementação das recomendações sugeridas nos relatórios do IPT e, em alguns casos, foram feitas entrevistas com a comunidade envolvida. A seleção dos municípios baseou-se nas demandas mais frequentes feitas pelas prefeituras no período de 2010 a 2018. Os municípios visitados foram: Aparecida, Arujá; Capivari; Cunha; Limeira; Monteiro Lobato; São Luiz do Paraitinga; e a Sub-Região Sudoeste da Região Metropolitana de São Paulo (Cotia, Embu das Artes, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Juquitiba,

São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista). Os resultados obtidos com as entrevistas indicam que o Programa foi plenamente exitoso, pois atingiu seus objetivos principais como a aproximação dos técnicos do IPT com os gestores municipais auxiliando a prefeitura na resolução dos problemas demandados, muitas vezes beneficiando diretamente a sociedade local e contribuindo para o desenvolvimento das regiões.

Abstract

The PATEM Program (Municipality Technological Support Program) was created in April 1989 by the Department of Development of the State of São Paulo, and, since then, it has been conducted in partnership with the Institute for Technological Research of São Paulo State (IPT). The Program was created by the State Government as a way to organize and to respond to the frequent requests for technological support presented by municipalities to the state authorities. Celebrating the 30 years of PATEM, an evaluation of the Program was carried out through eight case studies in order to assess the impacts of IPT on the served municipalities. This evaluation was performed with the support of 11 undergraduate Public Policy Management students from the School of Arts, Sciences and Humanities/ University of São Paulo (EACH-USP), working as consultants for Vertuno Junior Enterprise. For this assessment, on-site interviews with municipal managers and professionals, responsible for the implementation of the IPT's recommendations, were carried out. In some cases, the target population was also interviewed. The selection of the case studies was based on the most frequent requests asked by the municipalities between 2010 and 2018. The selected cases were: Aparecida, Arujá; Capivari; Cunha; Limeira; Monteiro Lobato; São Luiz do Paraitinga; and the Southwest Subregion of São Paulo Metropolitan Area (Cotia, Embu das Artes, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra and Vargem Grande Paulista). The interviews indicate that the Program was successful in achieving their main objectives, bringing together the IPT teams and public servants in municipalities and helping the local governments and, in many cases, solving their problems for the benefit of the local society and the development of the their regions.

1 Introdução

O Programa de Apoio Tecnológico aos Municípios (PATEM) foi criado em abril de 1989, no âmbito da atual Secretaria de Desenvolvimento Econômico do estado de São Paulo (SDE), com o objetivo de atender as necessidades de ordem técnica de municípios do Estado de São Paulo. Em 19 de novembro de 2010, o Programa foi formalmente instituído, por meio do Decreto no 56.412 (SÃO PAULO, 2010) para suprir as demandas municipais nas áreas de uso do solo, recursos minerais e água subterrânea, infraestrutura pública, distritos industriais e de serviços e dinâmica socioeconômica municipal. Desde a sua origem, o Programa é executado em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT).

A origem do PATEM encontra-se ligada ao objetivo do Governo do Estado de São Paulo (GESP) de sistematizar o atendimento às demandas de conteúdo tecnológico apresentadas continuamente pelas prefeituras municipais às autoridades estaduais. Alia-se a esse cenário a edição da Constituição do Estado de São Paulo (1989) que atribui ao Estado a obrigatoriedade em "proporcionar o atendimento técnico nas aplicações do conhecimento geológico às necessidades das Prefeituras do Estado" (Capítulo IV, Do Meio Ambiente, dos Recursos Naturais e do Saneamento; Seção III, Dos Recursos Minerais, Art. 214, inciso III). No plano político-institucional, as atividades do PATEM encontram-se sintonizadas com os programas contidos nos seguidos Planos Plurianuais de Ação (PPAs) do GESP, tendo como referência os objetivos e metas que devem ser atingidos a cada período fiscal. Ao longo dos anos, o Programa passou por um processo de aprimoramento, implementando uma abordagem operacional fundamentada em ações e atividades que atendam tanto as iniciativas oriundas das prefeituras quanto as que emanam da SDE e que se encontram vinculadas às diversas políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável dos municípios e do estado de São Paulo (TANNO et al., 2006).

Considera-se essencial que o escopo básico do apoio ao PATEM seja a prestação de serviços técnicos especializados, bem como o repasse e a fixação de capacitações e competências técnicas ao poder público e ao setor privado municipais. O atendimento técnico especializado para a solução de problemas reais e práticos tende a ser o veículo mais eficiente para uma efetiva consolidação do processo de transferência tecnológica. Além disso, a transferência tecnológica poderá se dar nas formas de treinamento, seminários, elaboração de manuais e publicações técnicas, entre outros mecanismos igualmente eficientes.

Adiciona-se, ainda, a perspectiva de incrementar a missão do IPT como instrumento efetivo de apoio tecnológico às ações voltadas ao desenvolvimento social, econômico e ambiental do Estado, em bases sustentáveis.

Aproveitando os 30 anos de existência do PATEM faz-se um balanço da atuação do Programa e para tanto, foram selecionados oito atendimentos, para avaliar o impacto nos municípios dos estudos realizados pelo IPT. Para essa avaliação, contou-se com a participação de 11 graduandos em Gestão de Políticas Públicas pela Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP) por meio da empresa júnior Vertuno.

Para essa avaliação, foram realizadas entrevistas com os gestores municipais e responsáveis pela implementação das recomendações sugeridas nos relatórios do IPT, e em alguns casos foram feitas entrevistas com a comunidade envolvida. A seleção dos casos baseou-se nas demandas mais frequentes feitas pelas prefeituras no período de 2010 a 2018, buscando-se diversificar os tipos de atendimentos a fim de oferecer uma visão abrangente. Os municípios selecionados foram: Aparecida, Arujá;

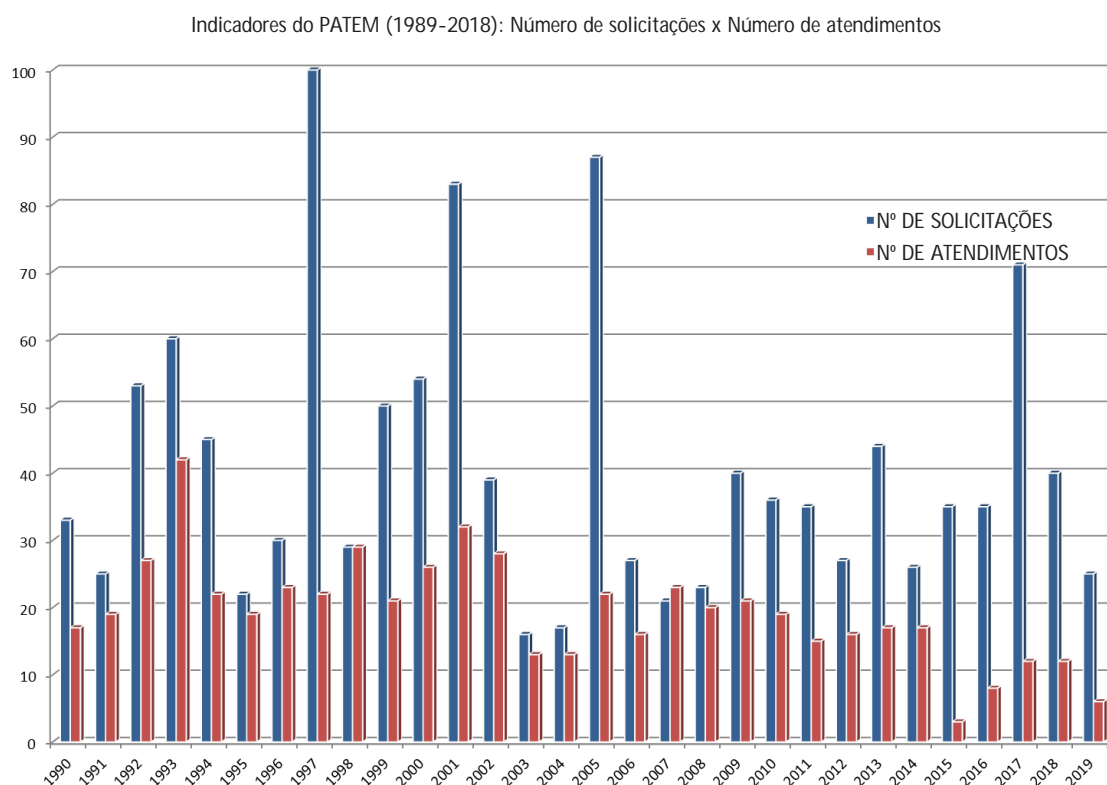
Capivari; Cunha; Limeira; Monteiro Lobato; São Luiz do Paraitinga; e a Sub-Região Sudoeste da Região Metropolitana de São Paulo (Cotia, Embu das Artes, Embu-Guaçu, Itapeccerica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista).

2 Demandas tecnológicas do PATEM

A diversidade de competências e capacitações tecnológicas do IPT, sobretudo nas áreas de engenharia e geologia, permitiu ao Instituto atender aos diferentes tipos de solicitações efetuadas pelas prefeituras municipais. Essas demandas, caracterizadas, sobretudo, pela necessidade de estudos e serviços especializados nas áreas de riscos geológicos e ambientais, planejamento territorial, obras de infraestrutura pública urbana e rural, recursos minerais e água subterrânea, e resíduos sólidos, mantiveram-se na pauta de solicitações de apoio efetuadas pelos municípios ao longo dos 30 anos de atuação do PATEM.

Nesse período de atividade, foram registradas cerca de 1.270 demandas municipais com 607 atendimentos priorizados pela coordenação do Programa na SDE (Figura 1). Os recursos alocados nesses atendimentos foram da ordem de R\$ 100 milhões (valores atualizados).

Figura 1 - Relação do número de solicitações e atendimentos no período 1989 a 2019



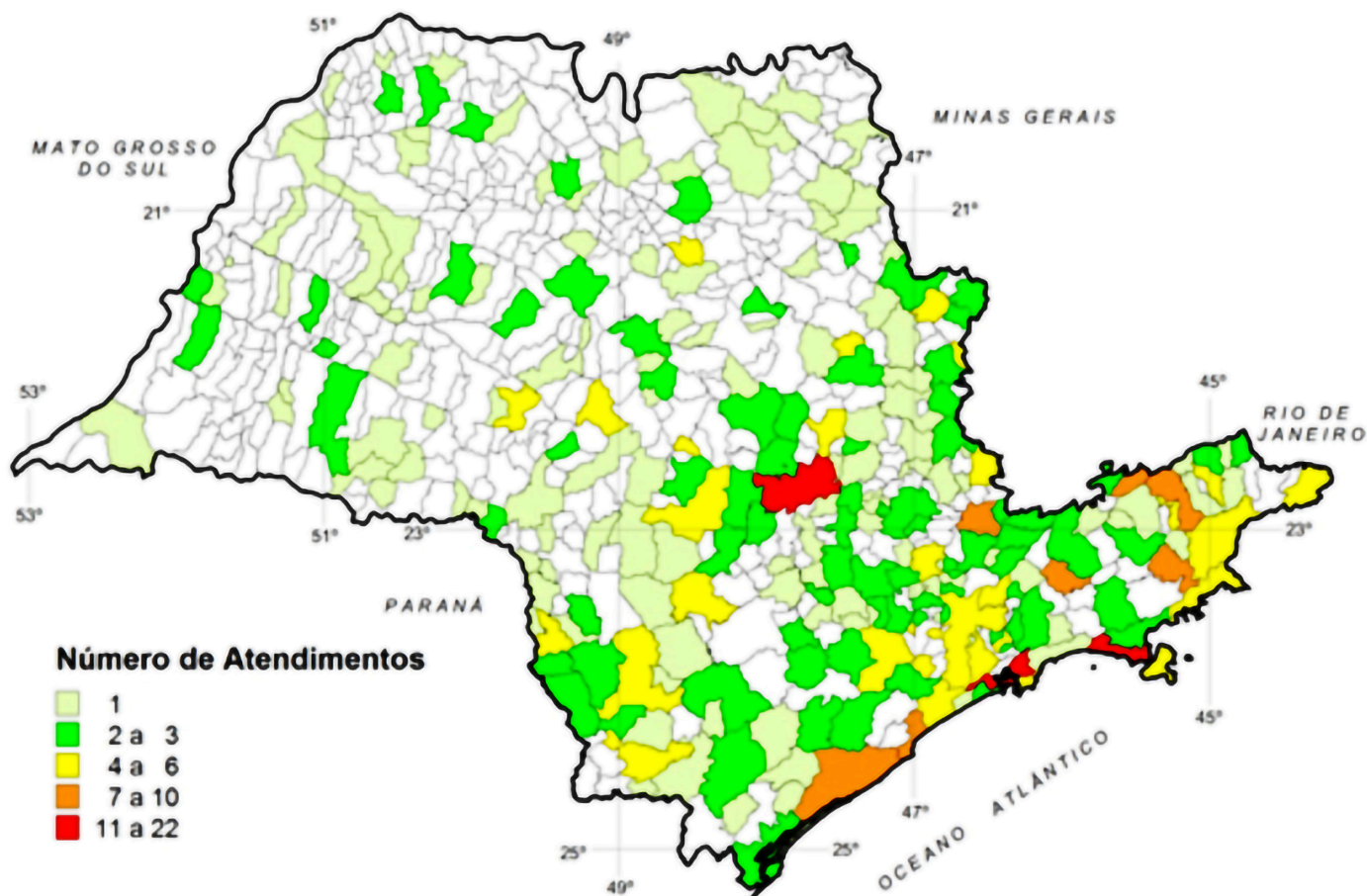
Fonte: elaborada pelos autores.

Dos 645 municípios que compõem o Estado de São Paulo, 300 municípios foram atendidos pelo PATEM, o que equivale a 46 % do total, ressaltando-se que alguns municípios foram atendidos em mais de uma oportunidade, como ilustra a Figura 2.

A Figura 2 evidencia ainda que houve uma grande concentração de solicitações nas regiões metropolitanas de São Paulo, do Vale do Paraíba e de Campinas. Por outro lado, nota-se o pequeno número de atendimentos para as regiões do Vale do Ribeira, Pontal do Paranapanema e Noroeste do estado.

No tocante à natureza das solicitações, as áreas de Riscos Geológicos e Planejamento Territorial tiveram o maior número de solicitações (40 %), seguidas pelas áreas de Infraestrutura Pública (25 %) e de Recursos Minerais e Hídricos (18 %). A concentração de pedidos nessas áreas deve-se em parte pelas dificuldades dos municípios, principalmente os de pequeno porte, de resolver esse tipo de problema, pois na maioria das vezes não dispõem de equipes técnicas capacitadas para tal.

Figura 2 - Distribuição de municípios atendidos pelo PATEM entre 1989 a 2018



Fonte: elaborada pelos autores.

3 Desdobramentos nos municípios

Os atendimentos realizados nos 300 municípios paulistas tiveram diferentes enfoques, desde trabalhos considerados emergenciais, que abordaram algum tipo de risco à segurança da comunidade, como inspeção e avaliação de obras de engenharia ou áreas com escorregamentos ou inundação, até trabalhos de planejamento e gestão de atividades ou serviços e atendimentos a políticas públicas.

Os reflexos e desdobramentos nos municípios foram muito variados, em virtude das características dos atendimentos efetuados. A seguir, são apresentados os oito casos selecionados que produziram repercussões importantes para o município ou mesmo para a comunidade diretamente envolvida.

Aparecida

Os trabalhos realizados em 2017 tiveram como objetivo formular o Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR), além de elaborar uma análise das áreas sujeitas a inundações e deslizamento no território. Para tal, buscou-se mapear por avaliações geológico-geotécnicas as áreas sujeitas à inundação ou que possuíssem altos graus de risco de deslizamento para, assim, propor intervenções cabíveis, à medida que se realizaram estimativas de custo para o projeto. Dessa maneira, a atuação do IPT culminou em um plano de ações que indicou a existência de 182 pontos de risco (IPT, 2017).

Em relação às indicações de intervenção em áreas conforme a gravidade dos riscos verificados, o desdobramento mais importante foi o consequente congelamento da ocupação de terrenos amparado tecnicamente pelo relatório. Isso significou, para a prefeitura, não apenas a possibilidade de retirada legal dos habitantes daquelas regiões, mas também, e mais importante, a inclusão desses egressos em programas de habitação popular.

O principal exemplo dessa conjuntura foi verificado com os ex-moradores do bairro de Santo Afonso (existente há mais de 30 anos) que, após a constatação de inviabilidade de continuarem a viver ali, devem ganhar do Governo Federal um terreno em um local seguro e regularizado para a construção de suas novas casas.

Arujá

O projeto desenvolvido pelo IPT em 2016 teve como propósito atualizar o Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) a partir da avaliação de estudos de 14 áreas de risco com graus diferenciados quanto à probabilidade de ocorrência de acidentes, tipologia dos processos geodinâmicos envolvidos e severidade dos potenciais eventos, resultando na delimitação dos setores de risco. A falta de informações atualizadas sobre a estabilidade do solo e as medidas

para alargar canais e canalizar água da chuva foram alguns dos principais problemas verificados durante a execução dos estudos.

Além disso, o relatório produzido pelo IPT (2016a) viabilizou uma conexão entre a prefeitura e a Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbana do Estado de São Paulo (CDHU). Como resultado disso, os moradores das áreas de risco puderam ser realocados para novas habitações prediais localizadas em uma região segura e com mais infraestrutura (Foto 1), o que proporcionou, assim, melhoras substanciais na qualidade de vida e no acesso à educação dos moradores atingidos. No tocante às perspectivas educacionais, segundo relatos de ex-moradores de uma zona de risco, verificou-se um vasto desenvolvimento de aprendizado dentre os jovens oriundos das famílias beneficiadas e que, portanto, já vislumbram a possibilidade de construir uma carreira acadêmica, de forma a melhorar suas condições profissionais. Portanto, possibilitou também cidadania aos moradores afetados.

Em termos efetivos, além de fornecer subsídios básicos para políticas públicas de gerenciamento de áreas de risco, os estudos realizados pelo IPT permitiram à Prefeitura realizar ações de restrição da ocupação dos setores críticos, obter recursos de programa estadual para a construção de moradias populares e executar intervenções estruturais localizadas para a redução de acidentes.

Foto 1 - Um dos prédios destinados pela CDHU aos ex-moradores das áreas de risco



Fonte: Jornal da Cidade de Arujá

Capivari

O atendimento realizado em 2014 teve como objetivo avaliar o potencial de contaminação das áreas dos antigos lixões Portela, Bresciani e Anicchino, verificando evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação, baseando-se no levantamento de informações disponíveis sobre o uso atual e pretérito da área e em análises químicas do solo superficial e subsuperficial e da água subterrânea e superficial. Além disso, foi definido o plano de encerramento das áreas supracitadas, a partir do levantamento de medidas ambientais, de engenharia e gestão que devem ser adotadas para o correto encerramento dos locais (IPT, 2015).

O resultado dos trabalhos mostrou que, para os aterros controlados Bresciani e Anicchino, não será necessário controle e monitoramento de gases, medidas necessárias no aterro controlado Portela. Os controles geotécnicos e de desempenho das drenagens superficiais são necessários para resguardar a segurança dos aterros e a integridade da cobertura. No tocante à água subterrânea na área do aterro controlado Portela, recomendou-se a restrição do consumo na área a jusante do mesmo, bem como restrição à instalação e utilização de poços cacimba pela população, para consumo, irrigação ou outro tipo de uso. Verificou-se, para essa mesma área, a necessidade de instalação de sistema de drenagem de gases e monitoramento periódico dos níveis de explosividade para evitar risco de explosão da massa de resíduos.

De acordo com os membros da administração local, a agilidade e comprometimento da equipe do IPT foram fundamentais para o bom resultado alcançado. O município anteriormente já havia passado por problemas com o Ministério Público, além da Cetesb, por conta da situação desses antigos lixões, o que lhe gerou diversas multas. A ação do Instituto foi extremamente minuciosa, oferecendo pleno suporte à prefeitura e demais órgãos locais, de forma a sugerir, inclusive, possíveis usos e ocupação para os terrenos dos antigos aterros, evitando novas intervenções por parte dos órgãos de controle.

Cunha

O município situa-se na região serrana do Planalto Atlântico, entre as escarpas da Serra do Mar e o Médio Vale do Paraíba, e é caracterizado por um relevo colinoso, o que dificulta a ocupação urbana do seu território. Após diversos casos de escorregamento nas encostas da sua área urbana, causados por fortes chuvas de verão, grande parte da população local teve suas moradias prejudicadas.

Em virtude dessa situação, a equipe do IPT executou em 2018 uma avaliação das áreas de risco do município. Primeiramente, os técnicos do Instituto avaliaram os estudos realizados anteriormente por um órgão federal que mapeou as áreas de riscos em encostas sujeitas a escorregamentos. Na sequência, foram feitas avaliações das condições de algumas edificações indicadas pela equipe técnica da Prefeitura (IPT, 2018).

Durante a avaliação do IPT, constatou-se que cerca de 20 % das moradias da cidade foram consideradas equivocadamente como de Risco Alto e Muito Alto pelo estudo vigente até então, o que inviabilizou a execução de possíveis intervenções por parte da prefeitura. Nesse sentido, a atuação dos técnicos do IPT foi extremamente importante para o município, o qual seguiu, de acordo com sua disponibilidade financeira e estrutural, todas as recomendações feitas no relatório. Assim, foi possível observar a efetividade das recomendações tanto para a restauração das moradias em situação de risco, quanto para a segurança da população local, que foi realocada pela prefeitura para novas moradias.

Segundo os gestores municipais, o relatório do IPT foi uma ferramenta fundamental para atender às demandas do Ministério Público (MP), e também para a prefeitura orientar e fiscalizar a ocupação urbana do município. As intervenções realizadas pelo poder público municipal impactaram diretamente os moradores da cidade, impedindo novos deslizamentos e garantindo a segurança da população local, além de possibilitar o monitoramento em algumas áreas para maior controle das situações de risco.

Limeira

O município de Limeira solicitou em 2016 o apoio do IPT devido à necessidade de ampliar sua produção de água para consumo. Para tanto, foi feita uma caracterização ambiental das Áreas de Preservação Permanente (APPs) da bacia do ribeirão Tabajara, cujos mananciais são utilizados para o abastecimento de água da cidade durante 70 % do tempo. Além disso, foi elaborado um protocolo com propostas de ações de recuperação das APPs localizadas em imóveis rurais com até quatro módulos fiscais que servirão para orientar os Projetos Individuais de Propriedade (PIPs), resultantes do projeto a ser financiado pelo Fundo Nacional de Meio Ambiente (FNMA).

O relatório IPT (2016b) auxiliou na caracterização das áreas de preservação e na criação de um método para manter e ampliar a qualidade das APPs da referida bacia. Esse trabalho de diagnóstico e indicação de métodos de recuperação foi o motivo pelo qual o município foi contemplado pelo Pagamento por Serviço Ambiental (PSA) que beneficiou tanto os proprietários que participaram do projeto de recuperação quanto os que já realizavam a preservação adequada.

Ademais, com esse diagnóstico a prefeitura iniciou a instalação de saneamento básico na área rural de Limeira, além de possibilitar o engajamento dos gestores municipais na busca por financiamento público junto a diferentes órgãos do aparelho estatal.

Monteiro Lobato

O atendimento ocorreu em 2015 para auxiliar a prefeitura na elaboração de Plano Diretor para orientar a atuação do poder público e da iniciativa privada na construção dos espaços urbanos e rurais na oferta dos serviços públicos essenciais. Para tanto, a equipe do IPT elaborou uma proposta de Plano Diretor pautado em premissas do Estatuto da Cidade, materializando uma construção participativa de espaços urbanos e rurais de todo o Município, respeitando a sua identidade e a diversidade cultural, com novos dispositivos básicos para contribuir no enfrentamento de seus grandes desafios.

O relatório IPT (2016c) desempenhou o papel esperado pela administração pública local, conquistando em 2018 a aprovação na Câmara Municipal sobre o Projeto de Lei para o Plano Diretor. Desde então, as diretrizes e metas estão sendo cumpridas de acordo com as prioridades condicionadas ao orçamento e às legislações ambientais.

Na execução dos trabalhos, houve uma boa interação nas audiências públicas, com participação ativa da população que levou à modificação de diversas diretrizes do Plano Diretor. O desenvolvimento da pesquisa aconteceu de forma empática aos munícipes, prejudicados ou não, e houve oficinas de sensibilização abertas para toda a população.

De acordo com a prefeita do município, o trabalho executado pela equipe técnica do IPT possibilitou à prefeitura resolver a situação das moradias irregulares orientando o poder municipal na ocupação urbana, tanto do ponto de vista geotécnico quanto ambiental.

São Luiz do Paraitinga

A cidade de São Luiz do Paraitinga foi alvo de uma forte chuva ocorrida na passagem de ano de 2009 para 2010 o que provocou uma grande inundação cobrindo cerca de 70 % da área urbana, causada pela enchente do rio Paraitinga que (Foto 2). Diversas edificações sofreram desabamento parcial ou total, inclusive a igreja matriz (Foto 3), comprometendo equipamentos públicos e privados e paralisando totalmente as atividades dos munícipes.

Foto 2 - Município de São Luiz do Paraitinga durante a enchente de janeiro de 2010.



Fonte: Moraes (2010)

Foto 3 - Igreja Matriz logo após a enchente.



Fonte: Andrade (2010)

Os técnicos do IPT estiveram presentes desde o início da tragédia nas ações emergenciais, visando instruir aos poderes públicos presentes na prestação de informações técnicas a respeito de quais ações poderiam ser desencadeadas de imediato para que os prejuízos residuais, pós desastre natural de grandes proporções, fossem minimizados (IPT, 2010).

A atuação da equipe foi dividida em duas fases depois da inundação da cidade. Na primeira fase, as inspeções foram de caráter emergencial, logo após a enchente e depois, na segunda fase, foi feito um trabalho mais detalhado. Ambas tiveram o objetivo de avaliar as condições estruturais das edificações afetadas, além de aspectos construtivos dos imóveis, referidos aos principais materiais de construção empregados (taipa e madeira), às suas fundações e aos solos de base. Os técnicos do IPT relataram que, no processo de avaliação dos imóveis afetados se desenvolveram novos modelos de cálculo de segurança em virtude das características das construções em taipa (MORAES et al., 2018)

Ao avaliar a situação das estruturas dos edifícios atingidos, por meio dos novos modelos elaborados, permitiu-se que fosse realizada a restauração adequada dos mesmos. Tal avaliação serviu também como orientação para a implementação de dispositivos de escoramento estrutural nas edificações mais prejudicadas.

Sub-Região Sudoeste da Região Metropolitana de São Paulo

O atendimento ocorreu em 2018 e teve por objetivo a fundamentação técnica do Ordenamento Territorial Geomineiro (OTGM) envolvendo os municípios de Cotia, Embu das Artes, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista.

O OTGM é uma ferramenta determinante para o setor público e indicativo para o setor privado, podendo a sua aplicação, no caso do poder público, ser direta, mas a sua eficácia é consideravelmente aumentada se integrado a outros instrumentos de gestão territorial como os planos diretores municipais e, no contexto regional, nos Planos de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUIs). No caso específico deste projeto no âmbito da RMSP e no Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), em processo de elaboração no estado de São Paulo pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental (CPLA/SMA).

Os trabalhos realizados permitiram reconhecer que a Sub-Região Sudoeste da RMSP é detentora de um potencial mineral de relativo realce no contexto paulista, mormente para a produção de agregados para construção civil e água mineral (IPT, 2019). Além dos ganhos socioeconômicos que o desenvolvimento disciplinado das atividades mínero-industriais pode propiciar aos municípios, essa dotação mineral ganha importância à medida que se trata de bens minerais imprescindíveis para o Estado, especialmente para a qualidade de vida da população da Grande São Paulo.

Nesse contexto, foi indicado para as prefeituras municipais um conjunto de diretrizes e iniciativas para a gestão e dinamização da atividade mineral em bases sustentáveis, buscando conciliar o

aproveitamento dos seus recursos minerais com as demais formas de uso e ocupação do solo e com a conservação ambiental. Essas prefeituras passaram a contar com instrumentos técnicos adequados para promover a otimização de ações objetivando atrair investimentos privados para a região, bem como para subsidiar mais adequadamente o planejamento de uso e ocupação de seus territórios. Com relação à proposta de estruturação das atividades industriais de aproveitamento de águas minerais nos moldes de um arranjo produtivo local, as prefeituras podem dispor desse trabalho para orientar as primeiras ações públicas em sintonia com interesses da iniciativa privada para o estabelecimento das inter-relações dos diversos segmentos envolvidos na cadeia produtiva e de serviços, no contexto de um sistema de governança factível para as condições locais diagnosticadas.

Portanto, uma iniciativa importante para os municípios é a inserção da atividade de mineração de forma destacada na revisão dos seus planos diretores, com vista a garantir o aproveitamento dos recursos minerais de forma sustentável, isto é, compatibilizando a sua exploração com as demais formas de uso e ocupação do solo, a conservação ambiental e de seus recursos hídricos. Junto com a carta de condicionantes geoambientais para o aproveitamento de recursos minerais, os demais produtos temáticos elaborados neste Relatório constituem subsídios técnicos para a concepção de políticas e ações de ordenamento territorial dos municípios.

Nas consultas feitas aos representantes dos diversos municípios envolvidos, empresários e organizações da sociedade civil reforçaram a importância dos trabalhos realizados pela equipe do IPT, uma vez que os municípios não dispõem de capacidade técnica, nem orçamentária para realizar um projeto desse porte. E também destacaram que os agentes municipais adquiriram maior expertise, ou seja, conhecimentos técnicos para dar continuidade às recomendações sugeridas, contribuindo ainda para aumentar a governança local com a interação entre os vários agentes públicos e privados na discussão de políticas para o desenvolvimento sustentável dessa região.

4 Considerações finais

O Programa de Apoio Tecnológico aos Municípios desempenhou um papel importante nesses 30 anos de atuação no atendimento aos municípios paulistas. Nesse período foram realizados mais de 600 atendimentos, abrangendo aproximadamente 300 municípios localizados em diversas regiões do Estado.

A experiência de atendimentos do PATEM mostra que há uma enorme carência de conhecimentos e de profissionais com formação técnica no nível municipal. Nesse sentido, os resultados obtidos nas entrevistas com os gestores municipais mostraram que o Programa foi exitoso, pois permitiu uma aproximação dos técnicos do IPT com os técnicos da prefeitura no auxílio à resolução de diversos tipos de problema, envolvendo questões tecnológicas de interesse ao exercício da administração municipal e em questões de interesse dos cidadãos, principalmente aos moradores em áreas de riscos. O Programa foi ainda de fundamental importância para solucionar controvérsias entre os municípios e órgãos de controle do governo do Estado, propondo alternativas para a resolução de problemas apontados por estes.

Considera-se que o escopo básico do PATEM foi atendido na sua grande maioria, ou seja, a prestação de serviços técnicos especializados, bem como o repasse e a fixação de capacitações e competências técnicas ao poder público municipal. O atendimento técnico especializado para a solução de problemas reais e práticos tende a ser o veículo mais eficaz para uma efetiva consolidação do processo de transferência tecnológica. Nesse contexto, ressalta-se a importância do envolvimento direto da administração municipal nos trabalhos, sobretudo pela participação de seus técnicos nas discussões e encaminhamentos das ações recomendadas pelos pesquisadores do IPT.

Os casos analisados evidenciam que a atuação do PATEM se mostrou ainda mais efetiva quando foi possível somar os conhecimentos e recomendações técnicas do Instituto aos recursos e esforços de outros órgãos do estado de São Paulo para a solução dos problemas, principalmente quando havia a necessidade de execução de obras ou mesmo de serviços, como nos casos de Arujá e São Luiz do Paraitinga.

Como recomendação final de política, sugere-se a articulação de parcerias institucionais entre a SDE e demais secretarias, tais como a Secretaria de Desenvolvimento Regional, Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente e Secretaria de Habitação a fim de potencializar as intervenções do estado nos municípios atendidos.

5 Agradecimentos

Agradecemos a colaboração dos graduandos em Gestão de Políticas Públicas pela Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo (EACH-USP) por meio da empresa júnior Vertuno.

6 Referências

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO-IPT. **Avaliação emergencial das condições estruturais de 23 edificações em São Luiz do Paraitinga – SP após a ocorrência da inundação em janeiro, 2010.** São Paulo: IPT, 2010.77p. (IPT Rel. n.115468-205).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO-IPT. **Investigação confirmatória de áreas contaminadas e elaboração do plano de encerramento de três aterros para o Município de Capivari, SP.** São Paulo: IPT, 2015. 211p. (IPT Rel.n. 145313-205).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO-IPT. **Atualização do Plano Municipal de Redução de Riscos de Escorregamentos para o Município de Arujá, SP.** São Paulo: IPT, 2016a. 347p. (IPT Rel. 149375-205).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO-IPT. **Recuperação de Áreas de Preservação Permanente para a produção de água, na sub-bacia do Ribeirão Tabajara, Limeira – SP.** São Paulo: IPT, 2016b. 383p. (IPT Rel. n. 149 114-205).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO-IPT. **Subsídios para o Plano Diretor Municipal de Monteiro Lobato, SP, incluindo análise de risco geológico-geotécnico do Bairro dos Souzas.** São Paulo: IPT, 2016c. 243p. (IPT Rel. n. 145147-205).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO-IPT. **Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) para áreas sujeitas a movimentos de massa e identificação e análise de áreas sujeitas a inundação no Município de Aparecida, SP.** São Paulo: IPT, 2017. 451p. (IPT Rel. n. 151699-205).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO-IPT. **Reavaliação do Mapeamento das Áreas de Risco no Município de Cunha, SP.** São Paulo: IPT,2018. (IPT Rel.n.154612-205).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO-IPT. **Bases técnicas para o Ordenamento Territorial Geomineiro – OTGM dos municípios da Sub-Região Sudoeste da RMSP.** São Paulo: IPT, 2019. (IPT Rel. n. 156538-205).

MORAES, J.T.; GRAMANI, M.; CORSI, A. **A reconstrução de um patrimônio**. Histórias de inovação: 40 estudos do IPT em serviços públicos, indústria, petróleo e gás, meio ambiente, saúde e administração, São Paulo, 2018.

SÃO PAULO (Estado). **Constituição Estadual de 05 de outubro de 1989**. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/constituicao/1989/constituicao-0-05.10.1989.html>. Acesso em: 04 nov. 2019.

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 56.412, de 19 de novembro de 2010. Institui o Programa de Apoio tecnológico aos Municípios - PATEM e autoriza a Secretaria de Desenvolvimento a representar o Estado de São Paulo na celebração de convênios com Municípios paulistas, tendo por objeto a implementação do referido programa. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, 20 de novembro de 2010. Disponível em: https://www.imprensaoficial.com.br/DO/BuscaDO2001Documento_11_4.aspx?link=%2f2010%2fexecutivo%2520secao%2520i%2fnovembro%2f20%2fpag_0001_902AA09TAIL8ReFT3GPSNHE4TVF.pdf&pagina=1&tdata=20/11/2010&caderno=Executivo%20I&paginaordenacao=100001. Acesso em: 04 nov. 2019.

TANNO, L.C.; CAMPANHA, V.; BITAR, O.Y. (coord.). **PATEM - 15 anos de apoio tecnológico aos municípios do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2006. 219 p.

DOI 10.34033/2526-5830-v4n14-1



Medição do raio médio de uma circunferência utilizando técnicas de processamento de imagem

Measurement of the circumference mean radius using image processing techniques

Gabriel Borelli Martins^{a*}, Marcelo Tadao Saita^b

a Laboratório de Vazão, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

b Laboratório de Metrologia Mecânica, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: gborelli@ipt.br

Palavras-chave:
processamento de imagem;
metrologia; OpenCV.

Keywords:
*image processing; metrology;
OpenCV.*

Resumo

Neste trabalho, é apresentado um caso simples de medição do raio de uma circunferência impressa em uma folha de papel sulfite A4 por meio de técnicas de processamento digital de imagens com a biblioteca OpenCV. Foram utilizadas dezessete fotos distintas, a partir das quais foram obtidos 136 raios médios diferentes. O procedimento adotado mostrou-se repetitivo, com desvio padrão de aproximadamente 0,4 % do valor do raio médio. O raio médio encontrado foi bastante próximo do raio desenhado e impresso, com erro de aproximadamente 0,5 %. É importante mencionar que a impressão da circunferência apresenta incertezas em relação ao desenho, feito em *software* de CAD. Não foi feita nenhuma determinação mais cuidadosa da incerteza do raio da circunferência impresso, mas uma estimativa grosseira, baseada nas divisões do paquímetro e na espessura da linha, permite dizer que a incerteza é da ordem de 0,8 % do raio, desenhado com 30 mm.

Abstract

In this paper, the measurement of the mean radius of a circumference drawn on a A4 paper sheet was performed using image processing techniques available on the OpenCV package. Seventeen distinct pictures were taken, from which 136 different mean radiuses were obtained. The adopted procedure produced repetitive results with standard deviation of 0.4 % of the mean radius value. The mean radius obtained with the procedure presented an error of 0.5 % compared to the nominal value printed on the sheet. It is important to mention that uncertainties are associated to the printed circumference. No careful investigation of those uncertainties was carried out, but considering the caliper used for the measurements and the thickness of the circumference line, an estimative of the expanded uncertainty is 0.8 % of the nominal value of the 30 mm drawn radius.

1 Introdução

Técnicas de processamento de imagem têm sido cada vez mais exploradas em diversas áreas com a explosão da utilização de algoritmos de visão computacional, inseridos em um contexto de mudanças significativas nos métodos de produção e na integração de toda a cadeia produtiva, algo que é tratado como a quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0.

A metrologia também está inserida neste processo e passará por uma transformação. Na realidade, a transformação já está em curso no mundo todo. Sendo assim, em 2019, o Centro de Metrologia Mecânica, Elétrica e de Fluidos (CTMETRO) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT), formou um grupo que pretende, de forma sistemática e contínua, explorar a utilização de técnicas de processamento de imagem e de visão computacional em problemas relativos à área metrológica.

Este trabalho traz um dos primeiros estudos realizados após a formação deste grupo. Tem como objetivo analisar um caso simples de medição do raio de uma circunferência, impressa em uma folha de papel sulfite A4, por meio de imagens digitais. Foram empregadas técnicas corriqueiras de processamento de imagem, para realizar medições do raio médio de uma circunferência em 17 fotografias distintas, procurando encontrar limitações no procedimento adotado e verificar a repetibilidade do método.

2 Técnicas de processamento de imagem empregadas

Nesta seção, serão descritas, de forma bastante sucinta, as técnicas de processamento de imagem utilizadas com o objetivo de determinar o raio médio de uma circunferência desenhada em uma folha de papel sulfite A4.

As fotos (mostradas na Figura 1 da seção 3) foram tiradas com a câmera posicionada em locais diferentes. Em primeiro lugar, é necessário determinar os parâmetros da câmera para a correção das distorções. Dois tipos principais de distorções podem ser observados: radiais e tangenciais.

Outros tipos de distorções existem, mas neste caso são menos significativos.

As distorções radiais são responsáveis pelas deformações que observamos com maiores intensidades próximas da borda da imagem, em que linhas retas parecem curvadas. Este tipo de deformação pode ser corrigido por meio de uma aproximação polinomial mostrada na **Equação 1** e na **Equação 2** (documentação da biblioteca OpenCV).

$$x_{\text{corrigido}} = x (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (1)$$

$$y_{\text{corrigido}} = y (1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (2)$$

Em que:

$x_{\text{corrigido}}$ = coordenada x corrigida

$y_{\text{corrigido}}$ = coordenada y corrigida

r = distância radial

k_1 , k_2 e k_3 = parâmetros de distorção radial

As distorções tangenciais, por sua vez, aparecem pelo fato de as lentes não estarem perfeitamente paralelas ao plano da imagem. Sua correção pode ser feita por meio de dois parâmetros, como mostrado nas **Equações 3 e 4** (documentação da biblioteca OpenCV).

$$x_{\text{corrigido}} = x + [2p_1 xy + p_2 (r^2 + 2x^2)] \quad (3)$$

$$y_{\text{corrigido}} = y + [p_1 (r^2 + 2x^2) + 2p_2 xy] \quad (4)$$

Em que:

$x_{\text{corrigido}}$ = coordenada x corrigida

$y_{\text{corrigido}}$ = coordenada y corrigida

r = distância radial

p_1 e p_2 = parâmetros de distorção tangencial

Também devem ser considerados os parâmetros extrínsecos e intrínsecos da câmera. Os parâmetros extrínsecos, de forma geral, levam em consideração o posicionamento da câmera em relação ao objeto no mundo real, podendo ser descrito como uma matriz de rotação e um vetor translação. Por outro lado, os parâmetros intrínsecos levam em consideração a distância focal e o centro óptico, dado pela matriz da Equação 5.

$$k = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Em que:

f_x e f_y = distâncias focais em pixels

c_x e c_y = centros ópticos em pixels

A função *undistort* da biblioteca OpenCV utiliza os parâmetros de distorção mencionados anteriormente (k_1, k_2, k_3, p_1 e p_2), em conjunto com a matriz da câmera (intrínseca), para corrigir a imagem. Para a obtenção de todos os parâmetros e das matrizes utilizadas na correção, são tiradas diversas fotos de um padrão conhecido. Neste trabalho, foi utilizado um padrão quadriculado (vide Figura 2 da seção 3). Essa etapa preliminar é necessária, uma vez que a relação entre a dimensão real (em mm) e a dimensão em pixels será utilizada na determinação do raio médio da circunferência.

Antes de identificar os contornos da imagem, foi aplicado um filtro para suavização de eventuais ruídos e um algoritmo de detecção de borda.

Para suavização, foi utilizado um filtro gaussiano. Filtros baseados em parâmetros estatísticos, tal qual o filtro gaussiano empregado, são filtros espaciais não lineares (GONZALES; WOODS; SCHMID, 2008). Filtros gaussianos seguem uma distribuição normal, sendo que o desvio padrão foi deixado livre para variar de acordo com o tamanho, em pixels, do filtro empregado. Filtros gaussianos tendem a borrar menos as imagens do que filtros lineares, uma vez que, dão maior peso aos pixels centrais.

O algoritmo de detecção de borda utilizado foi o algoritmo de Canny. A primeira etapa do algoritmo consiste no cálculo dos gradientes nas duas direções, x e y , por meio dos operadores de Sobel (GONZALES; WOODS; SCHMID, 2008). Em seguida, a magnitude e a direção dos vetores gradiente são calculadas. A partir de dois limiares, um inferior e um superior, as bordas são encontradas. Caso a magnitude do vetor gradiente seja maior do que o limiar superior, a região é tratada como borda. Caso a magnitude esteja entre os dois limiares, o algoritmo irá verificar se a região está conectada com uma outra borda e, em caso afirmativo, a região em análise também será tratada como borda (documentação do OpenCV).

3 Metodologia

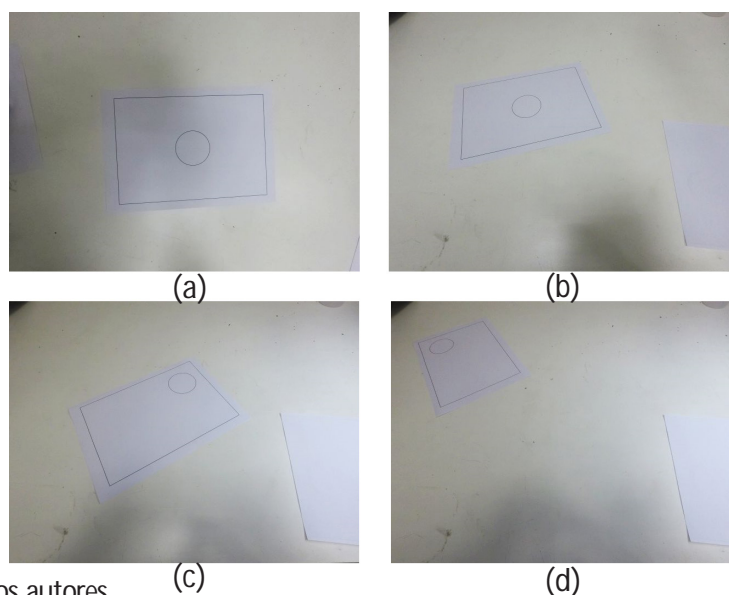
A circunferência foi impressa com espessura da linha de 0,5 mm e diâmetro médio de 60 mm. Obviamente, a impressão apresenta incertezas. Uma estimativa bastante simplificada foi realizada. O diâmetro médio foi medido 30 vezes com auxílio de um paquímetro. Pontos distintos foram utilizados no processo de medição. A resolução do paquímetro utilizado era de 0,05 mm. Com isso, obteve-se raio médio de 30,01 mm, com desvio padrão de 0,07 mm e desvio padrão da média de aproximadamente 0,01 mm. A incerteza padrão da média, incluindo a incerteza do tipo A mencionada e a incerteza devido à resolução do instrumento, foi de 0,02 mm.

A partir da análise descrita acima, considerando um intervalo de confiança de 95 %, chega-se à conclusão que se fossem realizadas 30 novas medições, o valor do raio médio da circunferência impressa estaria no intervalo $(30,01 \pm 0,04)$ mm 95 % das vezes. É importante mencionar que essa é uma análise simplificada. O paquímetro utilizado nas medições não possuía certificado de calibração. Eventuais erros sistemáticos não foram considerados. De qualquer forma, essas medições foram utilizadas para as comparações que serão feitas nos resultados deste artigo.

Quatro imagens originais, das dezessete utilizadas para as análises subsequentes, são mostradas na **Figura 1**. Cada imagem possui dimensão de 640x480 pixels.

A **Figura 1** mostra que algumas fotos foram tiradas com a câmera aproximadamente alinhada com o plano de medição (**Figura 1a**) e outras fotos foram tiradas com certa inclinação entre a câmera e o plano de medição (**Figuras 1b, 1c e 1d**). Em alguns casos, como o mostrado na **Figura 1d**, o objeto de interesse foi colocado propositalmente próximo dos cantos da imagem, locais que apresentam as maiores distorções.

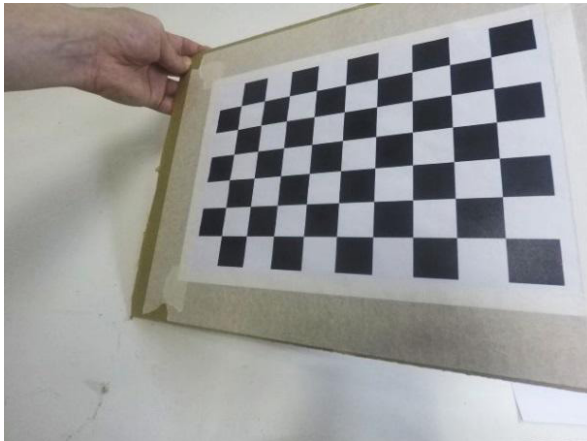
Figura 1 - Quatro imagens originais utilizadas para medição da circunferência.



Fonte: elaborado pelos autores

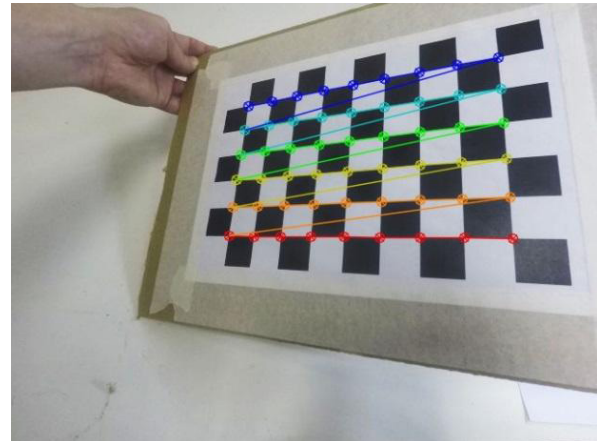
A primeira etapa do processo consistiu na determinação dos parâmetros da câmera para correção das distorções radiais e tangenciais. Para isso, 25 imagens distintas de um padrão quadriculado, como o mostrado na **Figura 2**, foram utilizadas. Os pontos de intersecção entre os quadrados pretos e os quadrados brancos no padrão podem ser identificados em cada imagem, como indicado na **Figura 3**. Como as dimensões dos quadrados são conhecidas, é possível determinar os parâmetros necessários para a correção das distorções.

Figura 2 - Padrão quadriculado utilizado para a determinação dos parâmetros da câmera.



Fonte: elaborado pelos autores

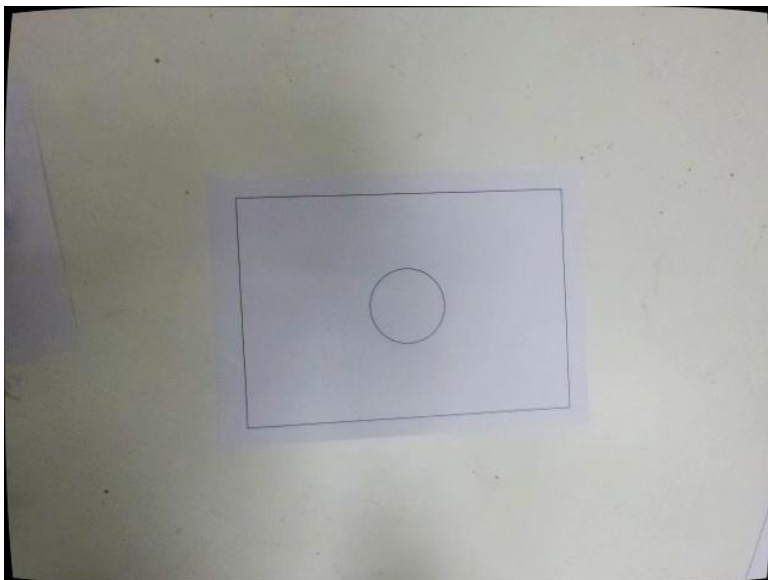
Figura 3 - Pontos de intersecção identificados.



Fonte: elaborado pelos autores

A **Figura 4** corresponde à correção das distorções para a foto mostrada na Figura 1a. A correção é mais perceptível nos cantos da imagem.

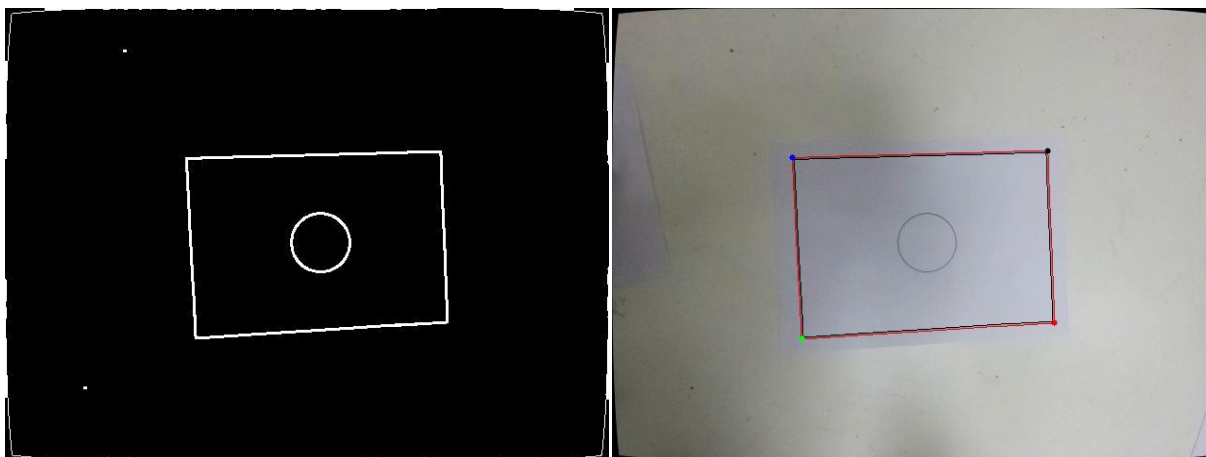
Figura 4 - Imagem da Figura 1a com correção das distorções.



Fonte: elaborado pelos autores

A próxima etapa consiste na identificação da borda externa desenhada na folha de papel. Os vértices desta borda serão empregados na transformação da imagem para que o raio médio da circunferência possa ser medido em verdadeira grandeza. Isso foi feito com auxílio do algoritmo de Canny para detecção de bordas, descrito anteriormente. Em seguida, os contornos foram identificados. As etapas de detecção de bordas e detecção dos vértices do retângulo são mostradas na **Figura 5**.

Figura 5 - Emprego do algoritmo de Canny para detecção de bordas (esq.), e identificação dos vértices do retângulo externo (dir.).



Fonte: elaborado pelos autores

Finalmente, foi aplicada a transformação linear para que a circunferência, desenhada no plano da folha, pudesse ser medida em verdadeira grandeza, como ilustrado na **Figura 6**. Em seguida, foram utilizados os mesmos algoritmos mencionados anteriormente (Canny e detecção de contornos) para a identificação do contorno externo e do contorno interno da circunferência. As dimensões do retângulo externo foram utilizadas para determinar a relação entre a distância física, em milímetros, e a distância em pixels da imagem.

Figura 6 - Imagem do plano com a circunferência em verdadeira grandeza.



Fonte: elaborado pelos autores

Como o algoritmo findContours da biblioteca OpenCV (documentação da biblioteca OpenCV) retorna as coordenadas dos pontos do contorno encontrado, pode-se facilmente calcular o centroide e a distância entre o centroide e cada ponto do contorno, que corresponde ao raio local. O raio médio e o desvio padrão do raio de cada contorno podem ser calculados como indicado na Equação 6 e na Equação 7.

$$\bar{R}_c = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^N R_K \quad (6)$$

$$R_{csd} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{K=1}^N (R_K - \bar{R}_c)^2} \quad (7)$$

Em que:

R_c = raio médio do contorno

R_{csd} = desvio padrão do raio do contorno

R_k = raio local k do contorno

N = número total de pontos no contorno

Deve-se registrar que outras duas técnicas foram empregadas anteriormente, com resultados piores: ajuste de uma circunferência no contorno externo e de uma circunferência no contorno interno para estimar o raio médio (resultado significativamente pior), e determinação do raio médio equivalente a partir da área dos contornos (resultado semelhante ao obtido com o procedimento adotado neste trabalho).

Para encontrar os contornos externo e interno da circunferência, pode-se aplicar um filtro gaussiano antes de detectar e identificar os contornos. O objetivo do filtro, conforme já discutido, é suavizar os contornos, de modo a reduzir possíveis ruídos que possam existir na imagem. Como o filtro aplicado possui tamanho pré-determinado e é simétrico, é de se esperar que os contornos externo e interno sejam afastados dos contornos reais à mesma taxa aproximadamente, de modo que, o raio médio permaneça o mesmo. Este efeito é mostrado na **Figura 7**. A imagem esquerda da Figura 7 corresponde ao caso em que nenhum filtro é aplicado. Já na imagem da direita um filtro gaussiano de dimensão 11x11 foi aplicado. Neste trabalho, a influência do tamanho do filtro é estudada para diferentes posicionamentos da imagem em relação à câmera.

Figura 7 - Contorno externo e interno da circunferência para o caso sem aplicação de filtro para suavização (esquerda), e para o caso com aplicação de filtro gaussiano de dimensão 11x11 (direita).



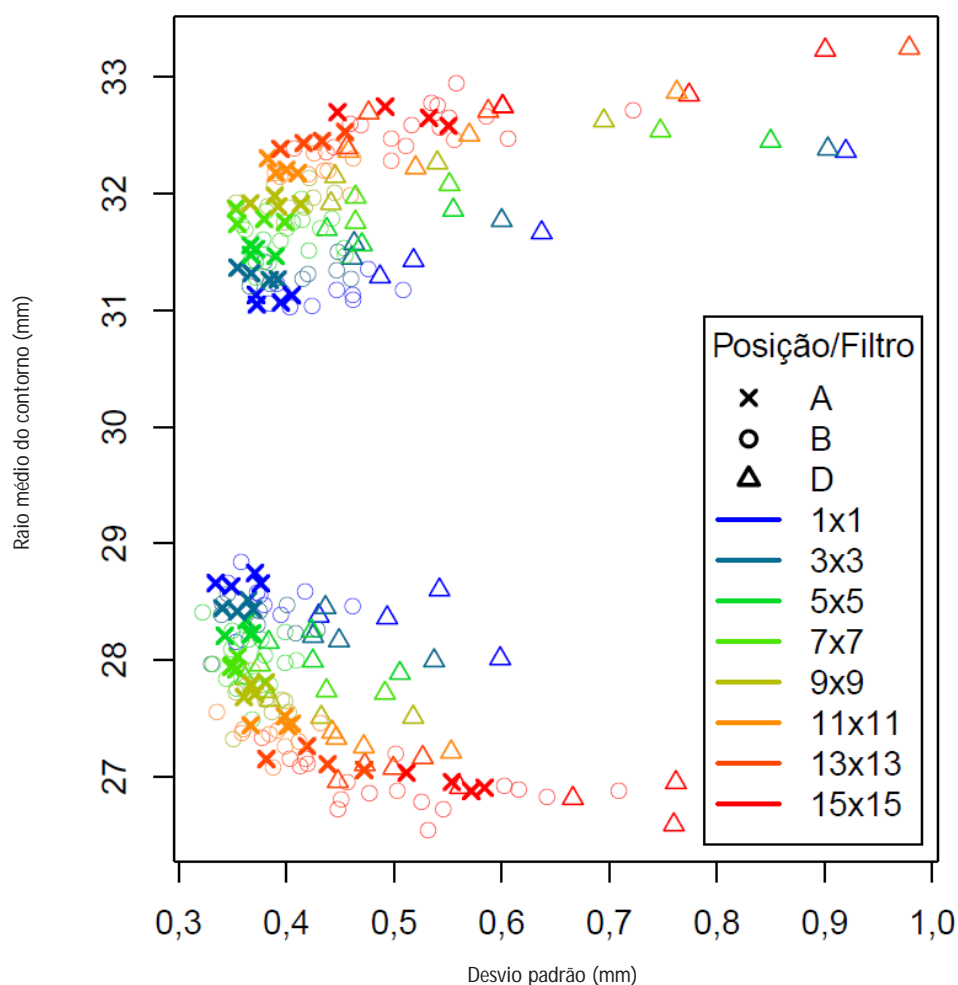
Fonte: elaborado pelos autores

Foram aplicados os casos: sem filtro gaussiano, filtro gaussiano com dimensão 3x3, filtro gaussiano com dimensão 5x5, filtro gaussiano com dimensão 7x7, filtro gaussiano com dimensão 9x9, filtro gaussiano com dimensão 11x11, filtro gaussiano com dimensão 13x13 e filtro gaussiano com dimensão 15x15.

4 Resultados

Ao todo foram dezessete imagens analisadas, sendo que foram aplicados, em cada caso, oito filtros gaussianos com tamanhos distintos, conforme discutido na seção anterior. Sendo assim, no total, foram obtidos 136 valores de raio médio do contorno interno e 136 valores de raio médio do contorno externo. Os resultados são mostrados no gráfico da Figura 8.

Figura 8 - Resultados dos raios médios dos contornos externos e dos raios médios dos contornos internos da circunferência.



Fonte: elaborado pelos autores

Conforme visto na Figura 7, o aumento do filtro gaussiano provoca maior separação entre o contorno externo e o contorno interno. Esse comportamento pode ser observado na Figura 8. Cores mais quentes correspondem a filtros espaciais de maiores dimensões e percebe-se o aumento da separação entre os valores dos contornos externos (acima de 30 mm), e os valores dos contornos internos (abaixo de 30 mm) no eixo das ordenadas.

Outra observação importante, que pode ser feita pela análise do gráfico da **Figura 8**, é que as fotos em que o objeto em estudo estava muito próximo do canto da imagem, com a câmera inclinada em relação ao plano de medição (posição D, marcada com triângulos na **Figura 8**, correspondente a imagens como a mostrada na **Figura 1d**), apresentaram maior variação no raio dos contornos. A posição A corresponde ao objeto em estudo centralizado com a lente da câmera aproximadamente paralela ao plano de medição, ao passo que a posição B corresponde ao objeto em estudo levemente deslocado para uma das laterais com a câmera inclinada em relação ao plano de medição.

A partir das 136 medidas de raio médio dos contornos externos e das 136 medidas de raio interno dos contornos internos pôde-se calcular os raios médios da circunferência, como mostra a **Equação 8**.

$$\bar{R} = \frac{(\bar{R}_{ext} + \bar{R}_{int})}{2} \quad (8)$$

Em que:

\bar{R} = raio médio

\bar{R}_{ext} = raio médio do contorno externo

\bar{R}_{int} = raio médio do contorno interno

Os resultados, considerando todas as imagens, são mostrados no histograma da **Figura 9**. O raio médio encontrado foi de 29,84 mm com desvio padrão de 0,13 mm. O desvio padrão da média corresponde ao desvio padrão dividido pela raiz quadrada do número de amostras (136). Sendo assim, o valor do desvio padrão da média para os dados experimentais vale 0,01 mm.

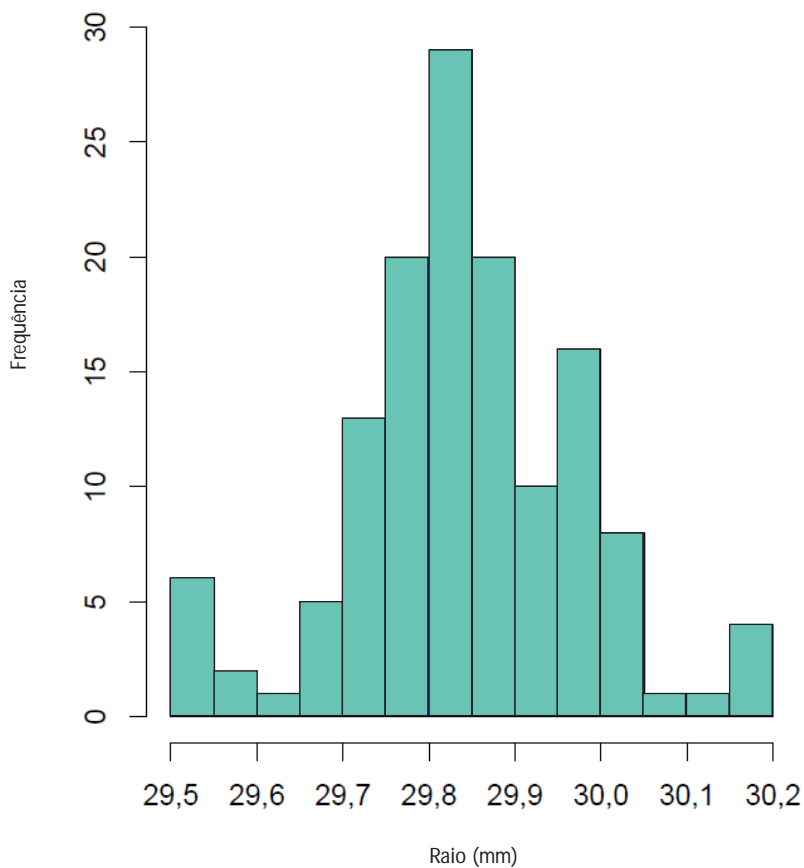
É importante mencionar que, durante o processo, é necessário aplicar um fator de correção de pixel para milímetro. Esse fator, conforme mencionado anteriormente, foi encontrado a partir de um retângulo de dimensão conhecida. Embora não tenha sido realizada nenhuma medição dos lados desse retângulo, como o processo de medição seria o mesmo descrito para a determinação do diâmetro médio impresso, o mesmo instrumento de medição seria utilizado, a mesma impressora foi empregada e a linha impressa possuía a mesma espessura da circunferência, é de se esperar que o desvio padrão da média seja da mesma ordem de grandeza que o determinado anteriormente para o caso da circunferência. Sendo assim, como uma estimativa, o mesmo valor de incerteza padrão da média será empregado (0,02 mm).

Com isso, a incerteza expandida para as medições com câmera digital, considerando um intervalo de confiança de 95 %, vale 0,05 mm. O valor do raio médio vale, portanto, (29,84±0,05) mm.

A princípio, em uma primeira análise, comparando os dados medidos com paquímetro e as medições com câmera digital, há uma pequena diferença no raio médio, da ordem de 0,1 mm. Maiores

investigações são necessárias, sobretudo no que diz respeito à função findContours. É bastante provável que a incerteza do raio médio, com a medição por meio de câmera digital, seja maior do que a aqui reportada. Em primeiro lugar, foram adotadas simplificações no cálculo das incertezas. Em segundo lugar, não foi considerado o efeito da resolução.

Figura 9 - Histograma do raio médio considerando todas as imagens.



Fonte: elaborado pelos autores

5 Conclusões

A partir dos resultados obtidos, algumas conclusões puderam ser tiradas:

- o posicionamento da câmera em relação ao objeto a ser medido é bastante importante, sendo que o ideal é trabalhar com a lente paralela ao plano de medição e manter o objeto o mais centralizado possível, evitando assim as bordas, que apresentam as maiores deformações (embora as distorções tenham sido corrigidas por meio da calibração da câmera);
- quando se deseja medir dimensões médias e não contornos externos e/ou internos, pode-se aplicar um filtro gaussiano de maior dimensão (para o caso estudado filtros até 11x11 para o caso centralizado apresentaram bons resultados) de modo a reduzir ruídos que possam existir nos contornos da imagem. A suavização exagerada também prejudica a identificação das bordas;
- o procedimento apresentou bons resultados para medições no mesmo plano em que foi feita a transformação para verdadeira grandeza;
- a estimativa do raio médio por meio das medições com uma câmera digital, empregando-se a metodologia adotada neste artigo, ficou da ordem de 0,1 mm abaixo da estimativa feita a partir das medições com um paquímetro. É provável que a incerteza relativa à medição com a câmera digital seja maior do que a aqui reportada, uma vez que não foram considerados possíveis efeitos da resolução e foram feitas simplificações no cálculo das incertezas. Além disso, maiores investigações são necessárias para investigar possíveis erros sistemáticos e;
- os resultados encontrados foram repetitivos. A maior parte da incerteza encontrada diz respeito à conversão de pixels para milímetros.

6 Referências

DOCUMENTAÇÃO DA BIBLIOTECA OPENCV. Consulta geral a homepage. Disponível em: <https://docs.opencv.org>. Acesso em: 20 fev. 2020.

GONZALES, Rafael C.; WOODS, Richard E.; SCHMID, Steven R. *Elaborazione delle immagini digitali*. Pearson Prentice Hall, 2008. 820 p.

DOI 10.34033/2526-5830-v4n14-2



Pré-tratamento da palha de cana-de-açúcar: avaliação do potencial dos processos de torrefação e lixiviação para remoção de contaminantes

Sugar cane straw pre-treatment: potential evaluation of torrefaction and leaching processes for contaminants removal

Vittor Rodrigues Santos Alves^{*ab}, Ademar Hakuo Ushima^{**b},
Crisley de Souza Peixoto^b

a Fundação de Apoio ao IPT, São Paulo-SP, Brasil.

b Laboratório de Engenharia Térmica, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: vittoralves@ipt.br

**E-mail: adidas@ipt.br

Palavras-chave:

palha de cana-de-açúcar; contaminantes; torrefação; lixiviação, energia.

Keywords:

sugarcane straw; contaminants; torrefaction; leaching; energy.

Resumo

A disponibilidade de palha de cana-de-açúcar tem aumentado com o uso da colheita mecanizada e a mesma tem sido incorporada ao bagaço para a obtenção de energia elétrica a partir da queima nos ciclos de cogeração das Usinas. A palha apresenta composição elementar, em termos de teores de C, H e O, muito próxima ao do bagaço, porém possui elementos químicos críticos, como cloro e potássio, em teores muito mais elevados do que no bagaço, o que pode causar sérios problemas de corrosão e incrustação nos reatores e trocadores de calor de processos térmicos como combustão, gaseificação e pirólise, além de aumentar a formação e emissão de compostos poluentes. Dessa forma, foram estudados dois processos de pré-tratamento da palha, a torrefação e a lixiviação, visando a remoção desses contaminantes e, assim, viabilizar o processamento térmico da palha na indústria. O processo de torrefação apresentou eficiência de remoção do cloro em 62,28 %, porém apresentou elevação no teor de potássio. A lixiviação, por sua vez, apresentou eficiência de remoção de cloro e potássio em 77,31 % e 55,35 %, respectivamente. Além disso, outros parâmetros quantitativos e qualitativos como recuperação de energia, variação do teor de cinzas e umidade, índice de corrosão e geração de resíduos também foram analisados na investigação do potencial de remoção de contaminantes desses processos.

Abstract

The availability of sugarcane straw has increased with the use of mechanized harvesting and it has been incorporated with the bagasse to obtain electricity from burning in cogeneration cycles. Straw has an elemental composition in terms of C, H and O very close to that of bagasse. This biomass has critical chemical elements, such as chlorine and potassium, in much higher contents which can cause serious corrosion problems in thermal process reactors and heat exchanger such as combustion, gasification and pyrolysis. Additionally, it causes an increase of the formation and the emission of pollutants. Thus, two processes were studied as an alternative for straw pre-treatment, torrefaction and leaching, to remove these contaminants and to make the thermal processing of straw viable in the industry. The torrefaction process presented chlorine removal efficiency in 62.28 % but presented an increase in the potassium content. Leaching, in turn, showed chlorine and potassium removal efficiency of 77.31 % and 55.35 %, respectively. In addition, other quantitative and qualitative parameters such as energy recovery, ash and moisture variation, corrosion index and waste generation of these processes were also analyzed in the investigation of these processes for contaminant removal.

1 Introdução

A palha de cana-de-açúcar é uma biomassa que possui composição elementar próxima ao bagaço de cana em termos dos compostos elementares majoritários como C, H, O, N e S. Porém, a palha de cana apresenta contaminantes que tornam complexa sua utilização em processos térmicos, principalmente o cloro (Cl) e o potássio (K), cujos teores variam de acordo com a parte da cana onde está localizada a palha (pontas, folhas secas ou folhas verdes). Nas biomassas da família das gramíneas, como a cana-de-açúcar e o capim elefante, esses componentes se apresentam majoritariamente na forma solúvel, de sal inorgânico (KCl) (STRÖMBERG; ZINTL, 2001).

O cloro presente na biomassa na forma de um sal, dentro da atmosfera de processos térmicos, pode gerar compostos orgânicos clorados, tais como o cloreto de metila (CH_3Cl), em baixas temperaturas e em atmosfera não oxidante, como ocorre na pirólise, pode estar presente nos produtos gasosos ou ficar incorporado ao bio-óleo. Em atmosferas oxidantes e elevadas temperaturas, como na combustão, o CH_3Cl tende a ser oxidado, gerando HCl. Na gaseificação, que é um processo de oxidação parcial, ambas as formas cloradas podem estar presentes (USHIMA; FRANCA, 2018).

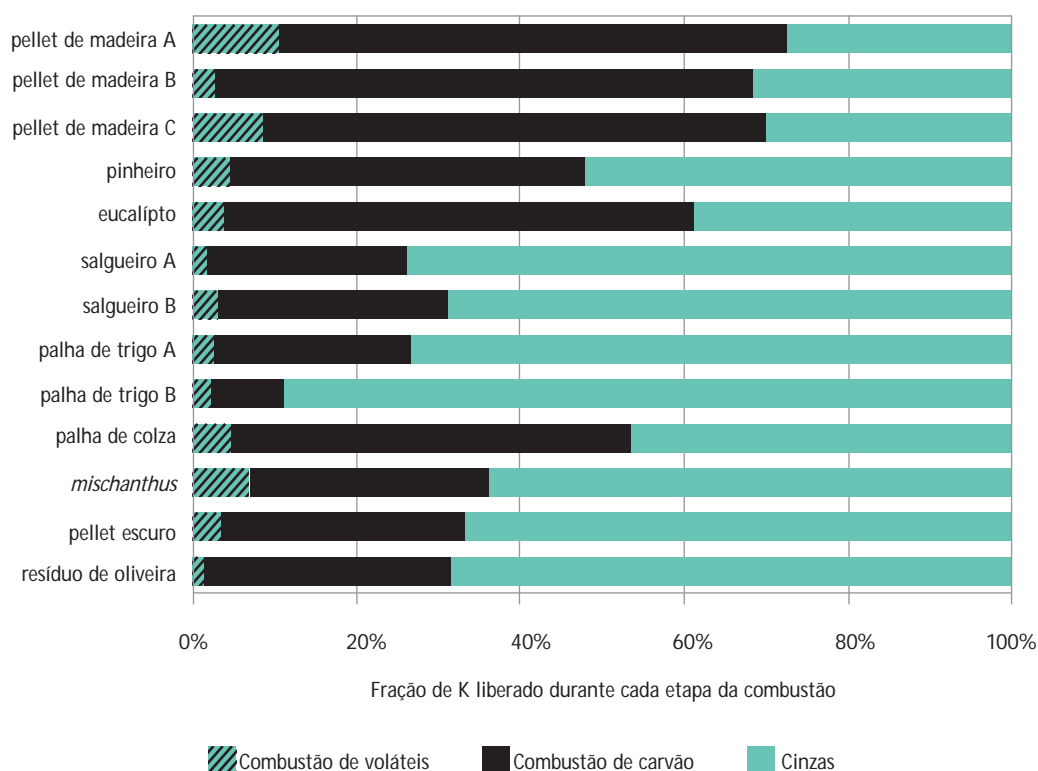
Dessa forma, devido a sua capacidade de liberar HCl como um dos produtos no processamento termoquímico, as biomassas com teor de cloro elevado podem gerar atmosferas altamente corrosivas dentro das caldeiras e gaseificadores. Esse fenômeno é intensificado pelas altas temperaturas que aceleram as cinéticas de corrosão.

O potássio, por sua vez, pode ser liberado de diversas formas nesses processos. Dayton et al. (1995), por meio de ensaios de combustão de uma gramínea, mostram que as formas inorgânicas desse elemento são as mais significativas na forma gasosa, principalmente na forma de KCl (g) e KOH (g), mas também na forma de outros sais como K_3PO_4 e K_2SO_4 .

Estudos do projeto SUCRE (SUGAR CANE RENEWABLE ENERGY, 2019) evidenciam que, conforme se aumenta o teor de palha na mistura com o bagaço, durante o processo de queima nas caldeiras das usinas, os fenômenos de corrosão e incrustação são intensificados tanto nos trocadores de calor da caldeira como nos superaquecedores, pré-aquecedores de ar e economizadores, o que ocasiona a perda de eficiência energética do equipamento ao longo do tempo, além do desgaste prematuro das estruturas do equipamento. Os compostos mais relevantes identificados nos depósitos nessas regiões da caldeira foram: K_2O , SiO_2 , SO_3 e o elemento Cl evidenciando, assim, uma necessidade técnica de abatimento desses elementos na palha.

Processos térmicos que ocorrem a temperaturas mais baixas, como a pirólise, também podem sofrer impacto da liberação desses componentes pela biomassa. Mason et al. (2016) afirmam em seu trabalho que o elemento Cl é liberado da biomassa majoritariamente durante a devolatização, ao contrário do potássio, que é liberado de forma mais intensa durante o processo de queima do resíduo sólido remanescente da pirólise, ou permanece nas cinzas. A Figura 1 mostra a fração de potássio que é liberada durante os estágios da combustão de diferentes tipos de biomassa.

Figura 1 - Liberação de potássio durante as etapas de combustão da biomassa



Fonte: Mason et al. (2016)

Nesse contexto, os processos de lixiviação e torrefação surgem como potenciais rotas para pré-processar a palha de cana e outras biomassas que apresentem teores de cinzas, álcalis e halogênios prejudiciais para a operação de reatores de conversão termoquímica.

A lixiviação é um processo que se baseia na extração de um ou mais solutos presentes em uma fase sólida por meio de um solvente líquido. Meester et al. (2018) reportam que a lixiviação pode reduzir as concentrações de K e Cl na palha de cana em até 80 % e 90 %, respectivamente.

Já a torrefação é um processo de termo-conversão que ocorre na faixa de temperatura entre 250 °C e 300 °C em que, devido ao aquecimento a essas temperaturas, a estrutura da biomassa é modificada, melhorando suas propriedades físico-químicas como a densidade energética, resistência ao ataque biológico e moabilidade. Em termos da remoção de compostos contaminantes, a torrefação também é apontada como ferramenta para eliminação do elemento Cl na biomassa, viabilizando o seu uso como combustível (SHOULAIFAR, 2016).

Nesse trabalho, os dois processos são avaliados experimentalmente, de forma introdutória, buscando dimensionar o potencial de aplicação desses processos. A torrefação foi realizada em um reator semicontínuo com a palha de cana em leito fluidizado, ocorrendo na faixa de 280 °C. A lixiviação foi realizada em leito fixo, utilizando água quente como solvente de lavagem. Para ambos os processos, a palha foi analisada antes e depois do tratamento, apontando as principais vantagens e desvantagens de cada tratamento, e uma perspectiva de pesquisas futuras visando otimização e escalonamento para aplicação industrial.

2 Procedimento metodológico

2.1 Caracterização da biomassa

A Tabela 1 apresenta os métodos utilizados para as caracterização físico-química da biomassa.

Tabela 1 - Normas utilizadas na caracterização da biomassa

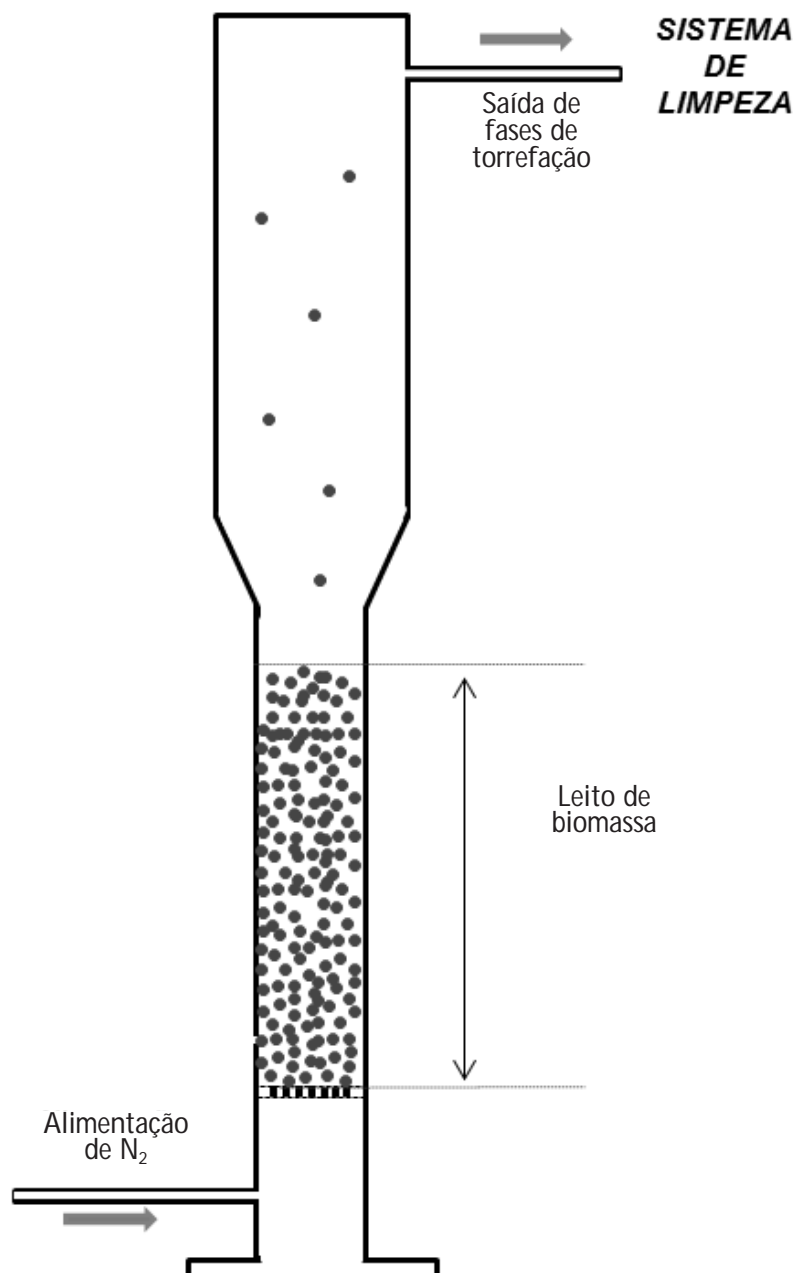
Análise química	Método
C-H-N	ASTM D5373-16 – Método A
Enxofre (S)	ASTM D4239-17 – Método A
Cinzas	ASTM E1755-01(15)
Oxigênio (O)	ASTM D3176-1
Materiais voláteis	ASTM D1762-84(13)
Carbono fixo	ASTM D3172-13
Umidade total	ASTM E1756-08(15)
Teor de Cloro (Cl) e Potássio (K)	ASTM D 4327:2017 e ASTM D 6357: 2011
Poder calorífico	ASTM D5865-13
Propriedades físicas	Método
Análise granulométrica	DIN EM 15149-2
Densidade aparente	ASTM D 2638-10
Densidade real de partícula	ASTM D 8097-17

Fonte: elaborada pelo autor

2.2 Descrição dos processos de pré-tratamento

O experimento de torrefação foi realizado em reator de leito fluidizado, mostrado na Figura 2. O processo foi semicontínuo, com alimentação e saída da fase gasosa em regime contínuo (gás inerte, N_2), e a biomassa em regime estacionário, retida no interior do reator durante o período de ensaio.

Figura 2 - Esquema do processo de torrefação em leito fluidizado.



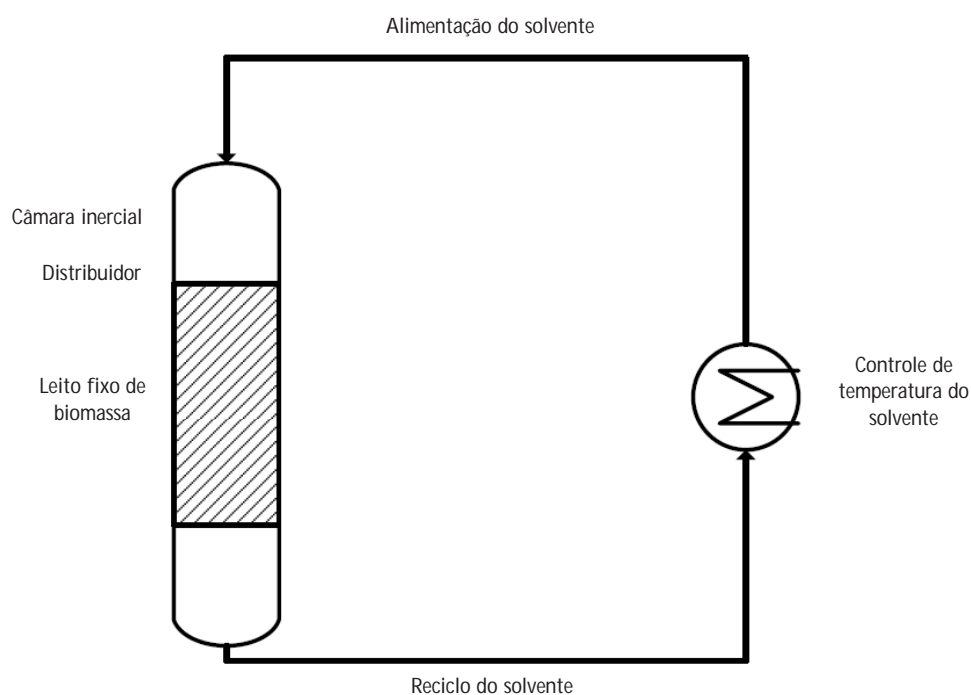
Fonte: elaborada pelo autor

A corrente que saiu do reator era composta por três frações: uma fração gasosa, uma fração de compostos voláteis e uma fração de particulados arrastados. Os particulados arrastados foram coletados em dois ciclones em série operando na mesma temperatura do reator, os voláteis foram condensados em um trocador de calor duplo tubo refrigerado a água e os gases limpos foram analisados em um analisador contínuo, monitorando os teores de CO_2 , CO , H_2 e CH_4 . Além disso, as temperaturas no reator foram medidas em três pontos: base (acima do distribuidor de gás) – T_1 , meio do leito – T_2 e no *freeboard* – T_3 . As temperaturas no reator foram controladas por sistema de controle PID, utilizando resistências elétricas externas ao reator para manter a temperatura desejada, compensando também as perdas de calor. Além disso, a pressão no *freeboard* (P_R) e a perda de carga no leito (ΔP) também foram monitoradas *on-line*.

O reator vazio foi pré-aquecido a $260\text{ }^\circ\text{C}$, e em seguida uma carga de $0,35\text{ kg}$ de palha de cana (com $12,3\%$ de umidade, b.u.) foi alimentada pelo topo do reator. Após o carregamento, iniciou-se a alimentação de N_2 pela base do reator com vazão de $0,23\text{ kg/h}$, na mesma temperatura do reator ($260\text{ }^\circ\text{C}$). O tempo de operação total do processo de torrefação foi estabelecido em 30 minutos. Após esse período, a vazão de N_2 foi interrompida e o reator resfriado com passagem de ar comprimido pelo lado externo do reator, e exposição ao meio ambiente para o resfriamento do sistema. Em seguida, o material foi removido do reator, estocado em condições ambientes e caracterizado.

O processo de lixiviação, por sua vez, foi realizado em uma coluna de leito fixo de palha de cana moída, e a água de lavagem em recirculação foi aquecida em um banho com controle de temperatura. A Figura 3 mostra um desenho esquemático do processo de lavagem utilizado.

Figura 3 - Esquema do processo de lixiviação em leito fixo utilizado.



Fonte: elaborada pelo autor

Nesse procedimento, foi utilizada uma carga de 0,21 kg de palha (base úmida, com teor de igual 12,3 %) no leito e a quantidade de água circulando no sistema foi equivalente a 1:19,5 ($m_{\text{palha úmida}} \cdot m_{\text{água}}$). A água em circulação passava por um aquecedor elétrico para manter sua temperatura em 75 °C e, ao entrar no lixiviador, a água passava por uma câmara inercial, por um distribuidor localizado sobre o leito de palha retornando, em seguida, para o sistema de aquecimento. O tempo de lixiviação foi de 50 minutos. As condições de processo empregadas tiveram por base as condições de operação de difusores de bagaço utilizadas comercialmente em algumas usinas para extração de açúcar, como citado no Manual de Recomendações de Conservação de Energia na Indústria do Açúcar e do Álcool (IPT, 1990).

Ao final do processo de lixiviação, a palha de cana, que se encontrava saturada com água, passou por uma etapa de secagem em estufa à 105 °C até que fosse atingida a estabilização da massa e foi estocada em condições ambientes, antes de ser enviada ao laboratório para análise.

2.3 Parâmetros de desempenho dos processos de torrefação e lixiviação

2.3.1 Diâmetro médio de Sauter

O diâmetro médio de Sauter (D_{PS}) foi calculado a partir da distribuição granulométrica da biomassa, conforme a Equação 1:

$$D_{PS} = \frac{1}{\sum \frac{x_i}{d_i}} \quad (1)$$

Onde x_i é fração mássica e d_i é o diâmetro médio das partículas retidas na peneira i .

2.3.2 Taxa de remoção de contaminantes

A avaliação da taxa de remoção de cinzas, cloro e potássio foi feita por meio da eficiência de remoção, dada pela Equação 2:

$$R_i = 100 * \left(\frac{C_{io} - C_i}{C_{io}} \right) \quad (2)$$

Onde:

R_i = taxa de redução percentual do componente na biomassa seca; se $R_i > -$ redução do componente, se $R_i < 0$ aumento do teor do componente;

C_{io} = teor mássico do elemento i na palha *in natura* em base seca;

C_i = teor mássico do elemento i na palha torrada/lixiviada em base seca.

2.3.3 Rendimento mássico

Na torrefação, ocorre um fracionamento da biomassa (gás, sólido e líquido), e o rendimento de cada fração foi calculado conforme a Equação 3.

$$Y_i = 100 * \left(\frac{M_i}{M_{biom_0}} \right) \quad (3)$$

Onde:

Y_i = rendimento na fração i;

M_i = massa do resíduo i (b.u.);

M_{biom_0} = massa da biomassa original (b.u.)

A partir dos rendimentos das frações, calculou-se a perda total de biomassa ocorrida durante o processo de torrefação, obtida segundo Equação 4.

$$L_{mass} = 100 - Y_{biom.} \quad (4)$$

Onde: Y_{biom} = somatório dos rendimentos de resíduos

2.3.4 Rendimento energético

Nos pré-tratamentos avaliados, ocorreram perdas de energia e a fração de energia retida na biomassa tratada foi expressa por meio do rendimento energético (R_E), dado pela Equação 5.

$$R_E = \frac{M_{biom.} PCI_{biomas}}{M_{biom_0} PCI_{biomas_0}}$$

Onde:

M_{biom_0} = massa de material original (b.s.);

M_{biom} = massa de material processado (b.s.);

PCI_{biomas} = poder calorífico inferior da biomassa tratada (b.s.);

PCI_{biom_0} = poder calorífico inferior da biomassa original (b.s.).

2.3.5 Índice de previsão de corrosão a alta temperatura

Outro parâmetro importante para avaliar os processos de pré-tratamento, de característica preditiva, é o índice de previsão de corrosão a alta temperatura (I_c), apresentado por Sommersacher et al. (2011), na **Equação 6**. Esse parâmetro, segundo os autores, permite avaliar o grau de corrosão de uma determinada biomassa em um determinado equipamento, tendo por base somente os seus teores molares de enxofre (S) e cloro (Cl):

$$I_c = \frac{2[S]}{[Cl]} \quad (6)$$

Onde:

I_c = índice de corrosão a alta temperatura (relação molar);

$I_c < 4$ maior risco de corrosão em alta temperatura;

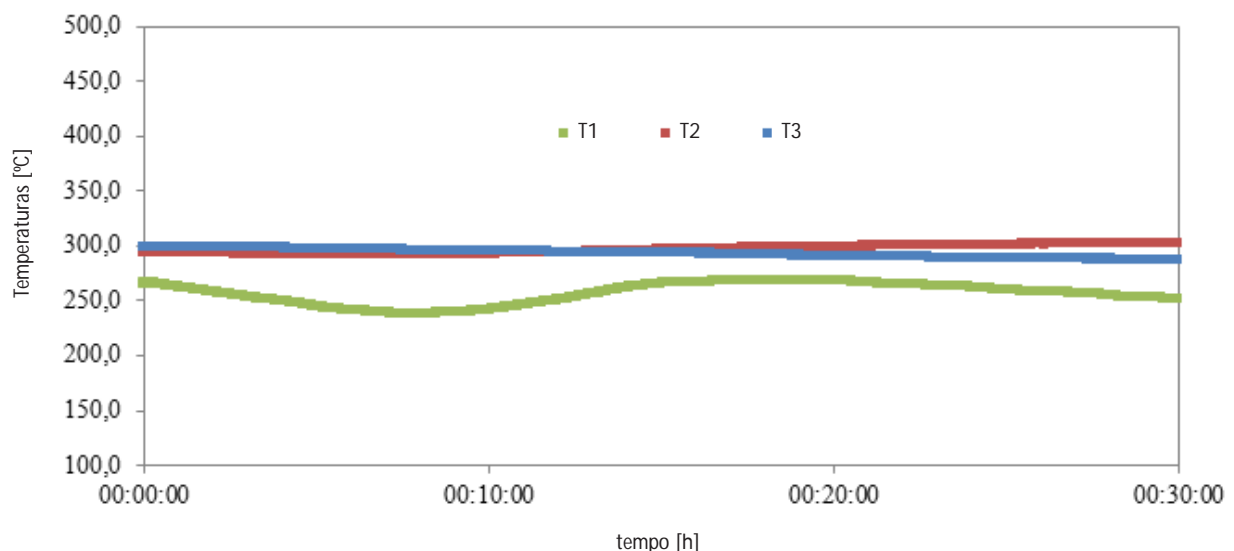
$I_c > 4$ baixo risco de corrosão.

3 Resultados e discussões

3.1 Parâmetros operacionais dos testes de pré-tratamento

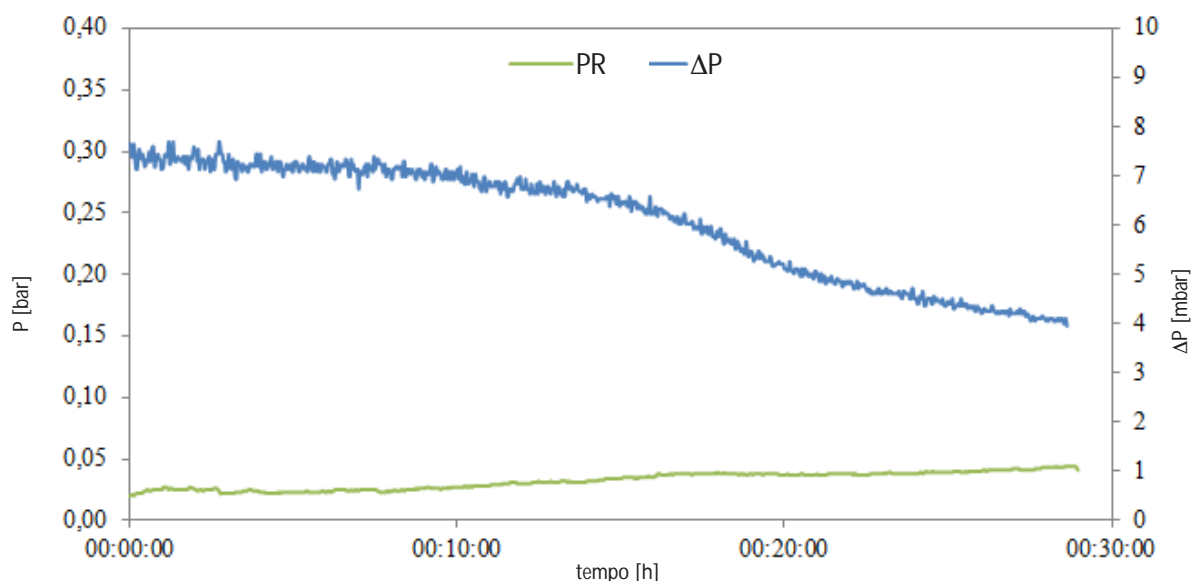
As temperaturas, pressões no reator e composição dos gases registradas no teste de torrefação, são apresentadas nas **Figuras 4, 5 e 6**, respectivamente.

Figura 4 - Temperaturas do reator monitoradas durante o processo de torrefação



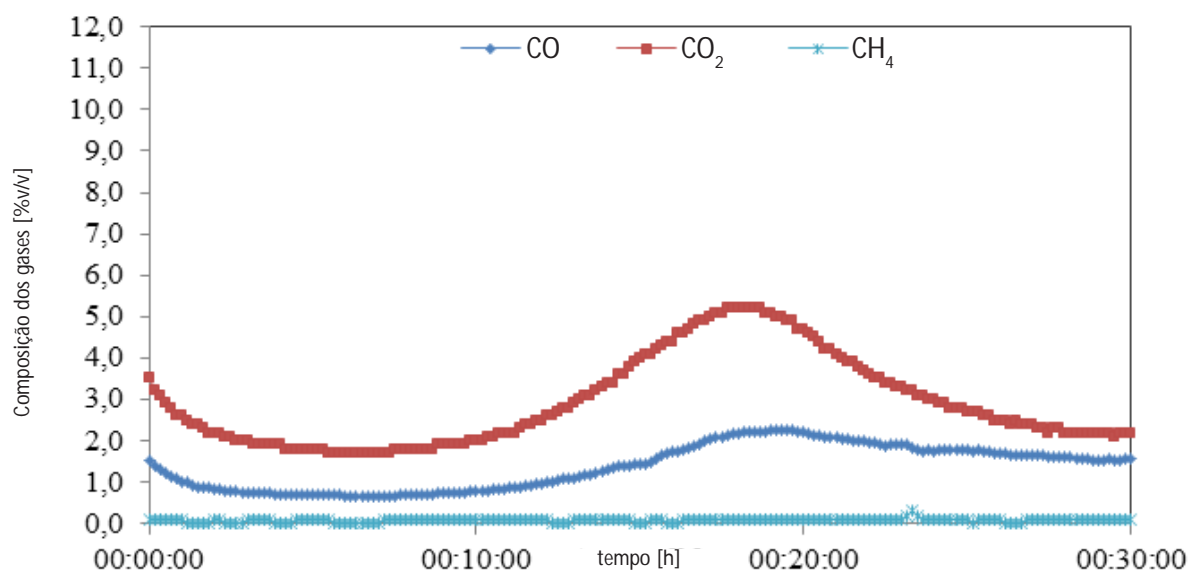
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 5 – Pressão no reator e perda de carga no leito de biomassa durante o processo de torrefação



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 6 – Teores de gases medidos ao longo do processo de torrefação



Fonte: elaborada pelo autor

Nota: o teor de H₂ foi igual a zero durante todo o processo

O processo de torrefação é uma degradação termoquímica da biomassa em baixas temperaturas, de natureza endotérmica. O N₂ foi alimentado no processo a 260 °C, e no início se observou uma tendência de queda das temperaturas no interior do reator como consequência do aquecimento da biomassa alimentada.

A perda de carga no leito apresentou caráter oscilatório no começo do processo, como mostrado na Figura 5, indicando que o leito estava ligeiramente fluidizado, com formação de bolhas no seu

interior. No decorrer do processo, a perda de carga no leito decresceu principalmente devido à perda de massa do leito com a liberação de gases, vapores e arraste de finos de biomassa torrada.

A análise dos gases gerados (Figura 6) mostrou que gases com carbono foram emitidos durante o processo, principalmente CO₂ e CO, com gás metano emitido em nível de traço (com média em torno de 0,1 %). Esses dados apontam que o processo de torrefação tende a um ponto crítico, por volta de 18 minutos do processo, quando as concentrações de CO₂ e CO atingiram picos máximos de 5,2 % e 2,2 % fração volumétrica, seguidas de quedas decorrentes da redução das taxas das reações de torrefação da palha.

O cloro na fase gasosa não foi monitorado, mas os dados na literatura apontam que a maior parte da liberação do cloro na biomassa se dá principalmente na forma de CH₃Cl, tendo início na faixa 150 °C e aumenta significativamente com a temperatura até cerca de 300 °C, e também HCl, em temperaturas maiores (200 °C a 700 °C). Além disso, a formação de CH₃Cl é favorecida em atmosferas não oxidantes e em biomassas com alto teor de pectina, o principal componente da parede celular primária, que atua como doador de radicais metil (CH₃) para a formação de cloreto de metila. A formação de HCl também pode ser favorecida em atmosferas oxidativas, com o sal KCl reagindo com outros compostos como o SO₂ e H₂O (HAMILTON et al., 2013; SALEH et al., 2014; SAILAUKHANULY et al., 2014)

Os parâmetros operacionais do processo de lixiviação não foram monitorados *on-line*, e a temperatura da água de lixiviação foi controlada por meio de um termostato.

3.2 Propriedades das biomassas tratadas

As palhas de cana pré-tratadas apresentaram alterações significativas em suas propriedades em relação à biomassa *in natura*, apresentadas a seguir.

3.2.1 Análise granulométrica, diâmetro de Sauter e densidades da palha de cana

A análise granulométrica da palha de cana utilizada antes do pré-tratamento é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise granulométrica da palha de cana *in natura*

Abertura	D_p médio (mm)	% mássica retida	% mássica acumulada
2,00 mm	2,40	-	-
1,40 mm	1,70	1,1	100
1,00 mm	1,20	19,9	98,9
600 µm	0,80	46,4	79,0
250 µm	0,42	21,0	32,6
< 250 µm	0,12	11,6	11,6

Fonte: elaborada pelo autor

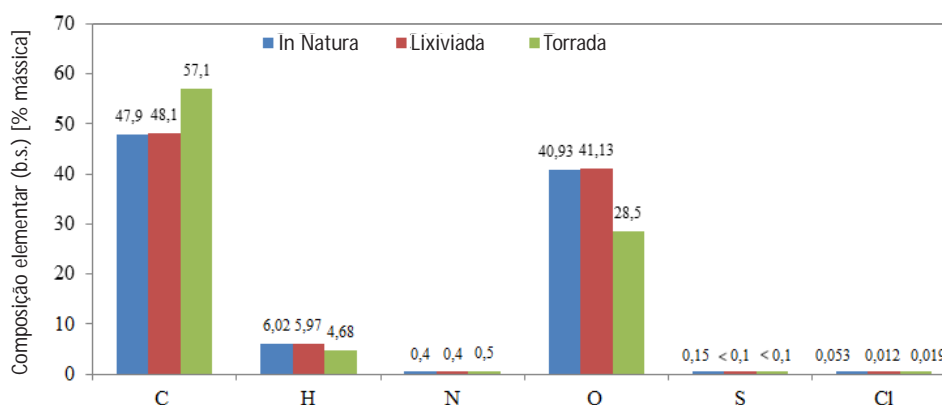
O diâmetro médio de Sauter (D_{PS}) da palha de cana ensaiada, calculada a partir da análise granulométrica apresentada, resultou num valor de $D_{PS} = 0,450$ mm e as densidades real e aparente de partícula ficaram em $1167,9$ kg/m³ e 414 kg/m³ (b.u), respectivamente.

Os materiais resultantes da lixiviação e torrefação não tiveram a análise granulométrica determinada, mas visualmente não sofreram grandes alterações.

3.2.2 Análise elementar e imediata

A análise elementar da palha *in natura*, e após os testes de torrefação e lixiviação são mostradas na Figura 7 e a análise imediata na Figura 8.

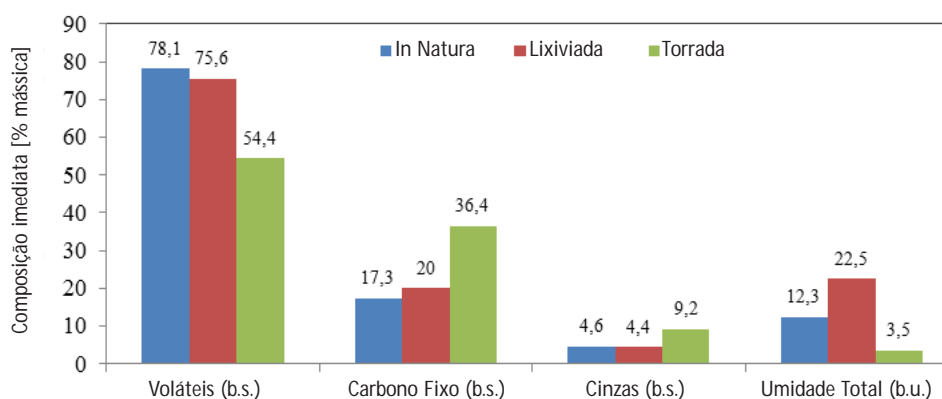
Figura 7 – Análise elementar (% b.s.) da palha *in natura*, e após os processos de lixiviação e torrefação



Fonte: Elaborado pelo autor

Nota: o teor de S na palha *in natura* é 0,15 %, enquanto nas palhas lixiviada e torrada foram encontrados teores <0,1 %

Figura 8 – Análise imediata da palha *in natura*, e após os processos de lixiviação e torrefação



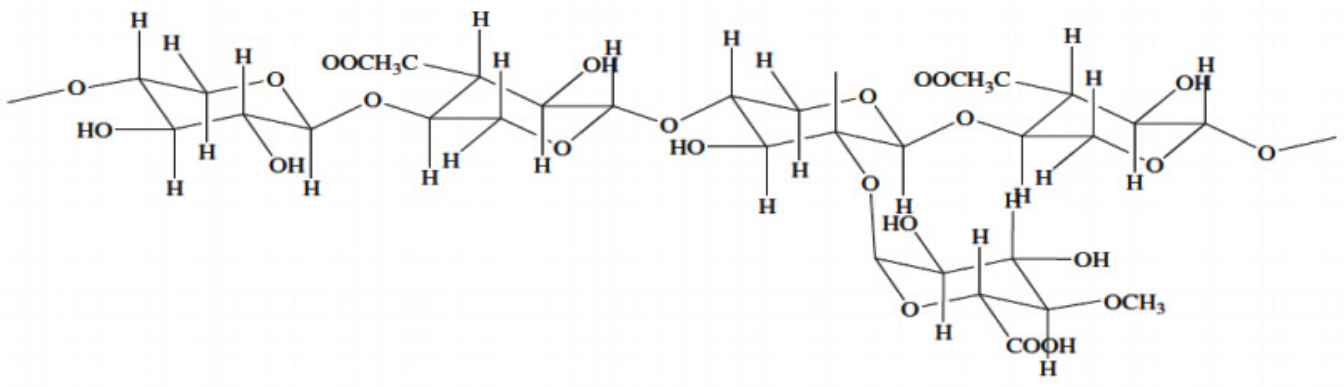
Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados de análise elementar mostraram que a torrefação provocou a desoxigenação da biomassa, levando ao aumento da concentração de carbono e, conseqüentemente, um maior adensamento energético da biomassa. O teor de O na biomassa in natura caiu de 40,93 % para 28,5 %, ou seja, houve redução de 30,37 % no teor de oxigênio da biomassa. O processo de lixiviação, por sua vez, não gerou variações significativas nos teores dos elementos majoritários.

Em termos da análise imediata, mostrada na **Figura 8**, variações significativas também foram observadas na composição do material torrado. O teor de voláteis caiu muito discretamente na biomassa lixiviada em relação à biomassa in natura, de 78,1 % para 75,6 %, enquanto na biomassa torrada ocorreu uma queda acentuada no teor de voláteis, de 78,1 % para 54,4 %. O carbono fixo apresentou o mesmo comportamento nos dois processamentos, com elevação acentuada no material torrado e discreta no material lixiviado. Quanto ao teor de cinzas, o processo lixiviação apresentou ligeira melhora no grau de remoção de cinzas, enquanto na torrefação observou-se um aumento acentuado no teor das cinzas. Com relação à umidade, o processo de lixiviação gerou uma biomassa mais higroscópica em relação à biomassa original, pois quando estocada em condições ambientes apresentou umidade de equilíbrio em torno de 22,5 % b.u., enquanto a palha in natura atingiu 12,3 % b.u. O processo de torrefação, por sua vez, gerou uma biomassa com caráter higroscópico muito menor do que o da palha in natura, apresentando umidade de equilíbrio com o ambiente de 3,5 % b.u. Uma possível explicação para isso é a degradação da hemicelulose na faixa de temperatura de 225 °C a 325 °C, que possui grupos carboxílicos **Figura 9**, que concedem um comportamento ácido à sua estrutura e uma forte tendência eletronegativa de se ligar com íons metálicos, concedendo um caráter hidrofílico às biomassas.

As melhoras nas propriedades de cominuição do material torrado também são atribuídas à degradação da hemicelulose durante o processo de torrefação.

Figura 9 – Parte estrutural da molécula de hemicelulose (xilana)



Fonte: Moraes et al. (2005), Souza (2012)

Nota: os grupos carboxílicos da estrutura da hemicelulose podem ser denotados pelos grupos OOCH_3C e COOH

Além disso, alguns autores como Bergman e Kiel (2005) observaram que a energia necessária para moer uma biomassa torrada pode ser até 70 % menor do que a energia para moer uma biomassa bruta, sendo que o grau de redução depende da intensidade do processo de torrefação e da biomassa.

3.2.3 Teores de contaminantes (Cl, K, S e cinzas)

O principal objetivo desse estudo foi verificar a capacidade de remoção dos compostos críticos da palha, como o cloro, potássio, cinzas e enxofre, das duas formas de pré-tratamento.

A Tabela 3 apresenta os teores desses componentes medidos na palha *in natura* e tratada e, na Figura 10, as frações mássicas e eficiências de remoção desses componentes para cada pré-tratamento.

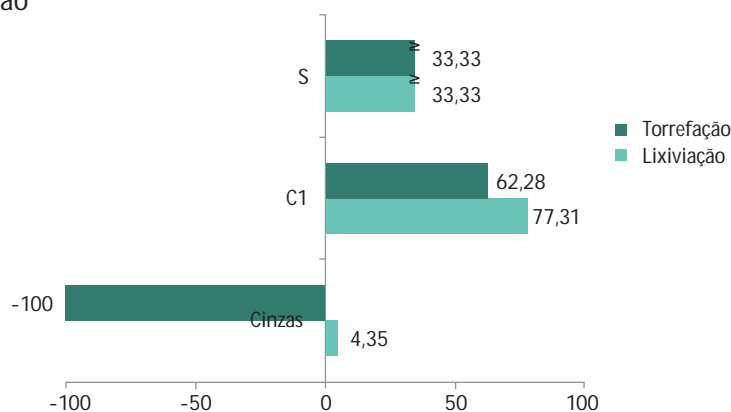
Tabela 3 – Teores mássicos de cinza, Cl, K e S da palha *in natura* e das palhas tratadas.

Componente	Composição na Palha de cana [% mássica] (b.s.)		
	<i>in natura</i>	Lixiviada	Torrada
Cinzas	4,6	4,4	9,2
Cl ⁻	0,0529	0,0120	0,0199
K	0,28	0,125	nd
S	0,15	<0,1	<0,1

Fonte: elaborada pelos autores

Não foi possível analisar a amostra de material torrado. Porém, durante a torrefação, a massa total de potássio pouco se altera. A volatilização do potássio ocorre a temperaturas acima de 700 °C, em processos de combustão ou permanece nas cinzas (MASON et al., 2016).

Figura 10 – Eficiência de remoção de compostos críticos presentes na palha após o processo de lixiviação e de torrefação



Fonte: elaborada pelos autores

Nota: eficiência de remoção calculada para o enxofre (S), tendo como base a fração de S na biomassa igual 0,1 (valor máximo), conforme a Tabela 1. Dessa forma, as eficiências de remoção de enxofre são $\geq 33,33$ %.

Apesar dos baixos teores de enxofre, considerou-se importante destacar o papel do enxofre nos mecanismos de deposição de incrustações e corrosão. Existem trabalhos anteriores que sugerem injetar enxofre com a biomassa para minimizar as corrosões a temperaturas elevadas (KASMAN et al., 2012; USHIMA; FRANCA, 2018).

O elemento potássio foi analisado apenas na biomassa lixiviada, apresentando, pelos dados da Tabela 1, eficiência de remoção de 55,35 %. Assim, como é mostrado na Figura 10, o processo de lixiviação apresentou eficiência na remoção de todos os compostos críticos analisados, reduzindo a fração mássica de cloro em 77,35 %, enxofre com redução mínima de 33,3 %, potássio em 55,35 % e cinzas em 4,35 %.

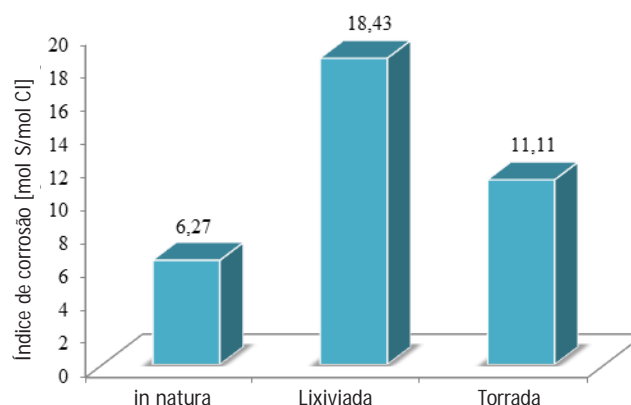
Durante a torrefação a massa total de potássio pouco se altera. A volatilização do potássio ocorre a temperaturas acima de 700 °C, em processos de combustão. (MASON et al., 2016)

A torrefação apresentou eficiência de remoção de cloro de 62,28 %, porém aumentou o teor de cinzas. Nas condições de torrefação estudadas, houve um aumento no teor de cinzas sendo praticamente duas vezes maior no material torrado, o que acompanha a tendência de perda de massa total da biomassa na ordem de 40 % a 50 % conforme os dados da Figura 12 e os dados reportados na literatura (SHOULAIFAR, 2016). Embora o teor de potássio não tenha sido analisado, estima-se que tenha aumentado nas mesmas proporções, visto que, esse componente possui taxa de liberação nas etapas de pirólise e torrefação baixa (vide Figura 1).

3.2.4 Índice de previsão de corrosão a alta temperatura

Na Figura 11, são apresentados os valores do índice de corrosão calculados para a palha de cana *in natura*, lixiviada e torrada. O valor crítico para o índice de corrosão é 4 mol de S por 1 mol de Cl, sendo que, abaixo

Figura 11 – Índice de corrosão a alta temperatura da palha de cana *in natura*, lixiviada e torrada.

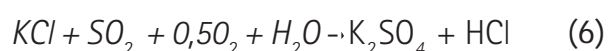


Fonte: elaborado pelos autores

Nota: índice de corrosão calculado tendo como base a fração de S na biomassa igual 0,1 (valor máximo) conforme a Tabela 1.

desse valor, a combustão (e potencialmente a gaseificação) dessas biomassas apresenta potencial de corrosão maior. Nota-se que os índices dos materiais gerados nos processos de torrefação e lixiviação, 18,43 mol e 11,11 mol de S por 1 mol de Cl respectivamente, são maiores que o da biomassa in natura, 4 mol de S por 1 mol de Cl, distanciando a biomassa da região de potencial corrosão.

O papel da relação molar entre o enxofre e cloro no índice de corrosão a alta temperatura pode ser melhor compreendida por meio da análise da reação de sulfatação dada pela Equação 6.



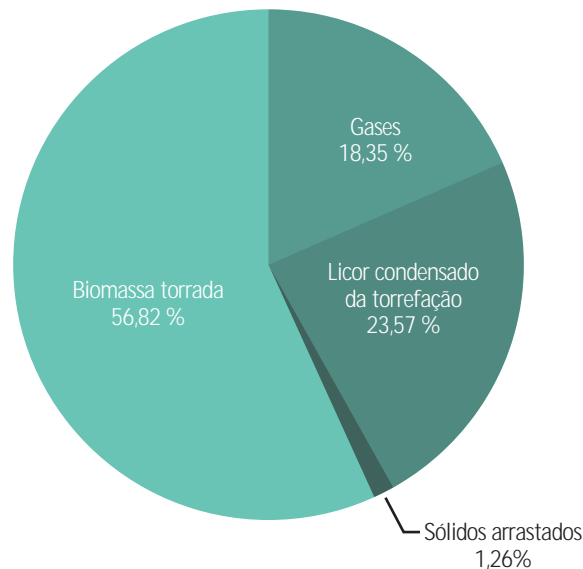
Segundo a reação, o SO_2 formado a partir da combustão do enxofre da biomassa pode reagir com o KCl depositado na superfície metálica do superaquecedor, formando sulfato de potássio (K_2SO_4), que possui ponto de fusão mais elevado que o KCl. Kassman (2012) relata que a formação de depósito de sulfato de potássio no lugar de KCl, sobre essas regiões, atua como uma camada inerte, evitando a ocorrência de corrosão dos superaquecedores das caldeiras. O HCl formado, por sua vez, segue com os gases de combustão, podendo causar problemas de corrosão nos economizadores, pré-aquecedores de ar e sistemas de limpeza de gás da caldeira. Dessa forma, o enxofre tem papel positivo em processo de combustão de biomassas cloradas somente nas regiões de alta temperatura. Essas regiões são as mais críticas em caldeiras e a corrosão nas regiões mais frias podem ser contornadas pelo controle de temperatura das superfícies metálicas e adição de agentes alcalinos nos gases

Ressalte-se, porém, que os valores de I_c da Figura 11 foram calculados tendo por base a remoção mínima de enxofre estimada. Shoulaifar (2016) e Saleh et al. (2014) reportam que a eficiência de remoção de enxofre no processo de torrefação a 280 °C de diversas biomassas é da ordem de 65 %. Assumindo esse valor de eficiências de remoção como base para o cálculo de enxofre na biomassa torrada, obtém-se o índice de corrosão de 5,83 para a palha torrada, ou seja, ainda assim acima do índice crítico de previsão de corrosão (4).

3.3 Balanço de massa e energia dos processos de pré-tratamento

A Figura 12 mostra os rendimentos mássicos das frações do processo de torrefação. Com base nas Equações (2) e (3), a perda de massa da palha no processo de torrefação foi igual a 42,61 % e a segunda fração mais abundante gerada na torrefação foi o licor condensado. Esse líquido não foi analisado, porém dados de literatura apontam que durante a torrefação da madeira de salgueiro, por exemplo, o licor de torrefação (a 300 °C e 10 min) é composto principalmente por água e ácido acético (fração mássica de 46,4 % e 17,8 %, respectivamente) e frações menores de metanol (CH_3OH , 13,2 % de fração mássica), ácido fórmico (CH_2O_2 ; 7,1 13,2 % de fração mássica), ácido láctico ($C_3H_6O_3$, 10,7 % de fração mássica), furfural ($C_5H_4O_2$) e traços de fenol (C_6H_5OH). Já a torrefação da madeira de coníferas (*softwood*) à 270 °C libera principalmente água e ácido fórmico (LV et al., 2015; PRINS et al., 2006; SHOULAIFAR, 2016).

Figura 12 – Rendimento mássico dos produtos gerados na torrefação da palha de cana.



Fonte: elaborado pelos autores

O processo de lixiviação gerou um efluente líquido que não foi analisado, e o rendimento de massa seca de palha lixiviada foi equivalente a 85,5 %, ou seja, houve uma perda de massa de 14,5 % no processo. O poder calorífico inferior da palha torrada foi de 20,92 MJ/kg b.s., enquanto da palha *in natura* foi de 17,71 MJ/kg (base seca). Essa perda significativa de massa e energia do processo de lixiviação mostra que a lixiviação com água à temperatura de 75 °C difunde para a fase líquida, não apenas compostos inorgânicos, mas também uma fração orgânica da palha (por exemplo, açúcares). Em estudos futuros, pretende-se avaliar o efeito da temperatura da água na taxa de lixiviação e identificar os componentes orgânicos lixiviados.

Dessa forma, a recuperação energética do processo de torrefação (Equação 5), desprezando o conteúdo energético do licor e dos gases, foi de 73,85 %. Apesar de o poder calorífico da biomassa lixiviada não ter sido determinado experimentalmente, verificou-se que a sua composição elementar (em termos de C, H, N, O e cinzas) ficou praticamente igual a da palha *in natura*, permitindo-se afirmar que os poderes caloríficos, em base seca, são semelhantes à da biomassa *in natura*, ou seja, a recuperação energética estimada para o processo de lixiviação foi aproximadamente igual ao seu rendimento mássico de 85,5 %.

4 Conclusão

Apesar dos processos de pré-tratamento avaliados nessa pesquisa, torrefação e lixiviação, não terem ocorridos sob condições otimizadas, ambos se mostraram alternativas promissoras para a redução de componentes críticos da palha como cloro e potássio, podendo viabilizar a sua utilização em larga escala nos equipamentos que hoje já queimam bagaço de cana. A Tabela 3 mostra um comparativo entre os resultados obtidos nessa pesquisa e as potencialidades avaliadas para os processos de torrefação e lixiviação.

Tabela 3 – Comparação qualitativa entre os processos de torrefação e lixiviação

Característica	Torrefação	Lixiviação
Demanda energética do processo	Média: processo realizado em torno de 280 °C	Baixa: processo realizado a 75 °C podendo ser avaliado também a frio, requer etapa posterior para remoção. A prensagem mecânica, por exemplo, remove a umidade a teores em torno de 50 % b.u., compatível com os equipamentos de combustão existentes e não consome muita energia
Complexidade operacional e de escalonamento	Média: o processo requer um sistema de separação das fases liberadas (particulado arrastado, voláteis e sistema de adequação do gás)	Média: podendo ser estudada como incorporação nos ternos de moagem com embebição ou nos difusores de cana. Para aplicações como a gaseificação, requer remoção de água
Remoção de cloro	Boa: eficiência de remoção de 62,38 %	Boa: eficiência de remoção de 77,31 %
Eficiência de remoção de potássio	Ruim: o potássio tende a ficar mais concentrado na biomassa torrada	Boa: eficiência de remoção de 55,35 %
Eficiência de remoção de cinzas	Baixa: as cinzas se concentram na biomassa em 100 %, ou seja, dobram seu teor	Baixa: eficiência de remoção de 4,35 %
Recuperação energética	Boa: valores na ordem de 73,85 %, além de subprodutos com potenciais aplicações	Boa: valores na ordem de 85,5 %, podendo ser melhorado com o processo a frio
Umidade e características higroscópicas	Boa: biomassa sai do sistema seco, atingindo baixa umidade total nas condições ambientes (3,5 %) com redução do caráter hidrofílico da biomassa	Ruim: biomassa lavada sai saturada com água e mesmo em condições ambientes apresenta umidade de equilíbrio elevada, na ordem de 22 %.

Fonte: elaborada pelos autores

Os resultados apresentados nesse artigo são frutos de trabalhos exploratórios realizados no Laboratório de Engenharia Térmica do IPT em 2019, devendo ser aprofundados em pesquisas futuras. Pretende-se otimizar os processos avaliados para a palha de cana-de-açúcar e estender a pesquisa para outras biomassas com grande potencial de geração no país, também com elevado conteúdo de componentes críticos, tais como capim elefante, cana energia, casca de eucalipto, palha de milho, cacho vazio de dendê etc.

5 Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D5373-16: Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke. West Conshohocken: ASTM International, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D4239-17: Standard Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion. West Conshohocken: ASTM International, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM E1755-01: Standard Test Method for Ash in Biomass. West Conshohocken: ASTM International, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D3176-15: Standard Practice for Ultimate Analysis of Coal and Coke. West Conshohocken: ASTM International, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D1762-84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. West Conshohocken: ASTM International, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D3172-13: Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke. West Conshohocken: ASTM International. 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM E1756-08: Standard Test Method for Determination of Total Solids in Biomass. West Conshohocken: ASTM International, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D4327-17: Standard Test Method for Anions in Water by Suppressed Ion Chromatography..West Conshohocken: ASTM Internationa. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D6357-11: Test Methods for Determination of Trace Elements in Coal, Coke, & Combustion Residues from Coal Utilization Processes by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission, Inductively Coupled Plasma Mass, & Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry.. West Conshohocken:ASTM International, 2011.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D5865-13: Standard Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke. West Conshohocken: ASTM International, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D2638-10 e1. Standard Test Method for Real Density of Calcined Petroleum Coke by Helium Pycnometer. West Conshohocken:ASTM International, 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D8097-17e1: Standard Test Method for Determination of Bulk Density for Specific Size Fractions of Calcined Petroleum Coke Using a Transaxial Pressure Pycnometer. West Conshohocken: ASTM International, 2017.

BERGMAN, P. C.A.; KIEL J. H. A. **Torrefaction for biomass upgrading**. Energy Research Centre of the Netherlands, ECN-RX--05-180. 2005. p.1-8.

DAYTON, D C; FRENCH R J; MILNE T. A. Direct observation of alkali vapor release during biomass combustion and gasification. 1. Application of molecular beam/mass spectrometry to switchgrass combustion. **Energy Fuels**, v.9, p.855-65. 1995.

MORAIS, S. A..L.; NASCIMENTO, E.A.; DE MELO, D. C. Análise da madeira de pinus ocarpa parte I: Estudo dos constituintes macromoléculas e extrativos voláteis. **Revista Árvore**. v. 29, n.3, p. 461-470, 2005.

SOUZA, F. R. B. **Síntese e caracterização de hemiceluloses catiônicas a partir do reaproveitamento da palha de milho**. 2012. 53f. Dissertação (Mestrado em Química). Programa de Pós Graduação em Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN 15149-2: Solid biofuels- Determination of particle size distribution - Part 2: Vibrating screen method using sieve apertures of 3,15 mm and below**. German, 2011. (version EN 15149-2:2010).

HAMILTON, J. T. G.; MCROBERTS, W. C.; KEPPLER, F.; KALIN, R. M.; HAPER, D. B. Chloride methylation by plant pectin: An efficient environmentally significant process. **Science**, v.301, p. 206-209, 2003.

KASMANN, H. **Strategies to reduce gaseous kcl and chlorine in deposits during combustion of biomass**. 2012. 53f. Thesis (Doctor). Department of Energy and Environment, Division of Energy Technology, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2012.

MASON, P. E.; DARVELL, L. I.; JONES, J. M.; WILLIAMS A. Observations on the release of gas-phase potassium during the combustion of single particles of biomass. **Fuel**. n. 182, p. 110-117, 2016.

MEESTERS K.; WOLTER ELBERSEN W.; VAN DER HOOGT, P.; HRISTOV H. Biomass pre-treatment for bioenergy. Case study 5: Leaching as a biomass pre-treatment method for herbaceous biomass. Sugar cane trash and palm oil mill residues. **IEA Bioenergy**. September 2018.

LV, P.; ALMEIDA, G.; PERRÉ, P. TGA-FTIR Analysis of torrefaction of lignocellulosic components (cellulose, xylan, lignin) In: Isothermal Conditions over a Wide Range of Time Durations. **Bio Resources**, n. 10, p.4239-4251, 2015.

PRINS M.J., PTASINSKI K.J., JANSSEN F.J.J.G. Torrefaction of wood- Part 2. Analysis of products. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.77, n.1, p. 35-40, 2006.

SAILAUKHANULY, Y.; SÁROSSY, Z.; CARLSEN, L; EGSGAARD, H. Mechanistic aspects of the nucleophilic substitution of pectin. On the formation of chloromethane. **Chemosphere**, v.111, p. 575-579, 2014.

SALEH, S. B.; FLENSBORG, J. P.; SHOULAIFAR, T. K.; SÁROSSY, Z.; HANSEN, B. B., EGSGAARD, H.; DAM-JOHANSEN, K.. Release of chlorine and sulfur during biomass torrefaction and pyrolysis. *Energy & Fuels*, v. 28, n.6, p.3738–3746, 2014.

SOMMERSACHER P.; BRUNNER T.; OBERNBERGER I. Fuel indexes: a novel method for the evaluation of relevant combustion properties of new biomass fuels. *Energy & Fuels*, v. 26, n. 1, p. 380–390, 2011.

SHOULAIFAR, T. K. *Chemical Changes in Biomass during Torrefaction*. 96f. Thesis (Doctor) Faculty of Science and Engineering. Åbo Akademi, Finland, 2016.

STRÖMBERG, B.; ZINTL, F. Release of chlorine from biomass and model compounds at pyrolysis and gasification conditions. In: BRIDGWATER, A. V. *Progress in thermochemical biomass conversion*. Oxford, Malden: Blackwell Science, 2001. v. 2, p. 1234–1245.

USHIMA, A H.; FRANÇA, G. P. Emissão de compostos clorados na combustão, gaseificação e pirólise de palha de cana-de-açúcar. *Revista IPT Inovação e Tecnologia*. v. 2, n. 8, ago.2018.

DOI 10.34033/2526-5830-v4n14-3



A rapid and effective method for determination of ethanol content in hand sanitizers (alcohol gel)

João Paulo Amorim de Lacerda^{a*}, Sandra Souza de Oliveira^a e Amanda Marcante^{ab}

a Laboratório de Análises Químicas, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. São Paulo - SP, Brasil.
b Mestre em Processos Industriais pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.

*E-mail: jpaulo@ipt.br

Keywords:
hand sanitizer; alcohol gel; ethanol; gas chromatography.

Abstract

The new Coronavirus-Disease (COVID-19) pandemic has increased public awareness about hand hygiene both in-house and in out-of-home situations. As a consequence, there was a shortage of alcohol gel in supermarkets and pharmacies which led to a rise of "alternative brands" and manufacturers for this product in the market. Ethanol is the main active ingredient in hand sanitizer products. For liquid formulas, the use of alcoholmeter is the standard method for quality-control of the ethanol concentration, but for gel products, with high viscosity, this method does not apply. In this paper, a rapid method for ethanol determination in hand sanitizers (alcohol gel) is presented, aiming at the quality-control of this product which is important to assure its efficacy in killing pathogenic microorganisms. The method was applied for seven samples of alcohol gel which showed ethanol mass fraction levels ranging from 53.9 % to 65.3 %, below the alleged content on their label and the recommended concentration for viruses and bacteria inactivation. The use of an ultrasonic bath was proved to be more suitable for sample homogenization rather than hand-shaking. Overall, the method has shown to be rapid and presented good specificity, repeatability, and reproducibility for the proposed application.

1 Introduction

The consumption of alcohol gel, the most common hand sanitizer, has sharply increased in Brazil after the outbreak of the new Coronavirus-Disease (COVID-19) pandemic (RIBEIRO, 2020; SANDES; PEREIRA, 2020). Since there was a shortage of this product in the market, several industries which have no previous experience in producing alcohol gel started to use their facilities to manufacture this product in order to help the government, but also to generate revenue with an alternative product (LEMOS, 2020; FUCUCHIMA, 2020; LABBATE, 2020).

Alcohol gel has been proved to be effective in eliminating viruses and bacteria from inanimate surfaces as well as from biological tissues (PARK et al., 2010; KAMPF, 2018; RABENAU et al., 2005), but the studies that have come to these conclusions also conclude that there is a range of concentration in which ethanol (the active component of most hand sanitizers) is effective in the elimination of hazardous microorganisms (HERNANDES et al., 2004; REYNOLDS et al., 2006). Products with ethanol mass fraction as low as 50 % do not kill viruses nor bacteria and therefore are recommended only for general cleaning of surfaces, such as tables, wardrobes, and countertops (ANVISA, 2002). Although efficient in killing microorganisms, alcohol content above 80 % (either by volume fraction or by mass fraction) is also not recommended because it evaporates quickly, leaving a short time range for the product to take effect. On the other hand, it increases the risk for domestic accidents, such as explosions, intoxication via ingestion and burning (CONSELHO FEDERAL DE QUÍMICA, 2020).

Most studies indicate a mass fraction range between 60 % and 80 % of ethanol for a good sanitizing activity (KAMPF et al., 2020). At these concentrations, ethanol molecules act in the same way as soaps, because of the nonpolar side of the molecular structure which binds to the lipid constituents of the cellular membrane of microorganisms, followed by interaction of the polar side with water molecules to facilitate the inactivation and the removal of the pathogenic agent from the skin (JANSEN, 2020).

In Brazil, the National Health Surveillance Agency (ANVISA) is the government department who regulates the production of hand sanitizers and analogous products and has established that the ethanol mass fraction in liquid hand sanitizer formulations must be between 60 % and 80 % but for alcohol gel formulations the minimum concentration must be 70 % (ANVISA, 2010; 2019). However, ANVISA does not specify a method for the determination of the final content of ethanol in these formulations. In a recently released guidance, the US-FDA recommends an ethanol volume fraction of at least 60 % for hand sanitizers (USFDA, 2020) and the World Health Organization (WHO) advises the use of a formula containing a volume fraction of 75 % or 80 % of ethanol (WHO, 2010).

Several standard methods are available for evaluating the efficacy of hand sanitizers in killing pathogenic microorganisms (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2013, 2015, 2016) but none of them focuses on the evaluation of the ethanol content. For liquid formulations, both WHO and ANVISA indicate the use of alcoholmeter in a graduate cylinder (WHO, 2010; ANVISA, 2020) but this method does not work for very viscous mixtures, such as gels. Therefore, it is necessary to have a specific and practical method for the quality control of the alcohol gel formulations.

Handwashing with water and soap for at least 20 seconds is a procedure as effective as the use of alcohol gel and the most recommended practice for the elimination of viruses and bacteria (WHO, 2009; RIDLEY, 2020). However, for "out-of-home" situations, such as when commuting in public transportation, the use of a hand sanitizer is strongly indicated to avoid contamination in pandemic times. Therefore, it is important to ensure that the ethanol concentration of a given hand sanitizer is in conformity with the suggestion by the sanitary authorities so the product can be safely used by the population.

To this end, we developed a rapid method for quality control of the ethanol content in hand sanitizers (alcohol gel) by gas chromatography with a flame ionization detector (GC-FID). We also applied this method for the quantification of ethanol in seven samples of alcohol gel and tested the effect of an ultrasonic bath in the sample preparation.

2 Materials and Methods

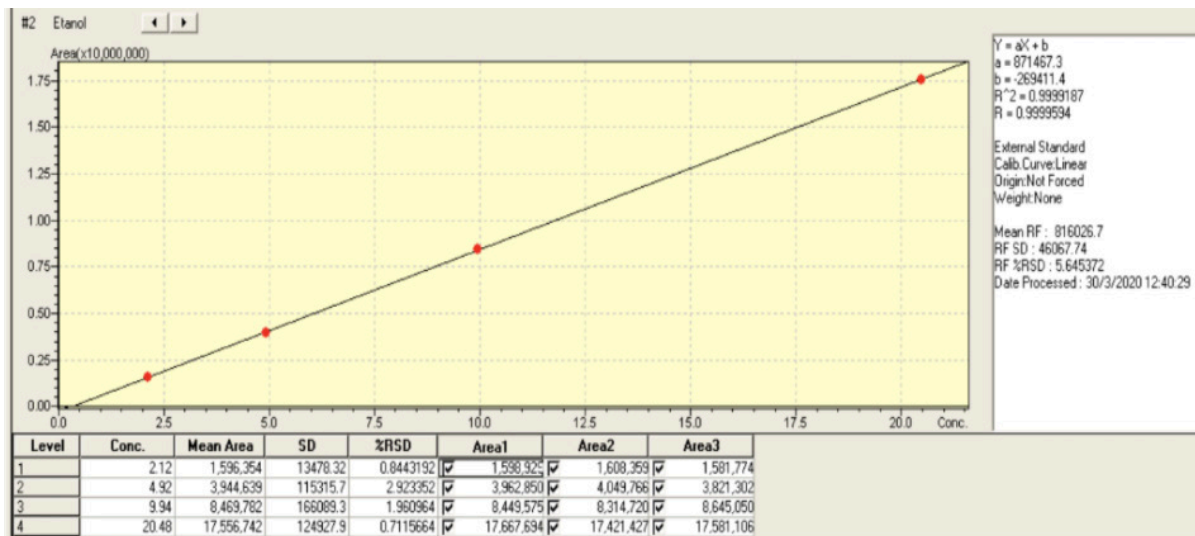
*Seven batches of alcohol gel (ethanol mass fraction of 70 %, as declared on the label) were obtained from a local producer and identified with laboratory codes (A, B, C, D, E, F, and G). An aliquot of 1 g was weighed and diluted (1:10) with *n*-butanol, that is 1 gram of alcohol gel in 10 mL butanol (Vetec, Duque de Caxias-RJ, Brazil). During the preparation, it was noticed that the samples tend to stick to the narrow walls of volumetric flasks (due to its viscous characteristic), thus they were substituted for screw cap vials with a wide mouth for all preparations and the solvent was also weighed. The samples were prepared twice in triplicate (a total of six preparations for each sample). Half of the samples were hand-shaken for 2 min and the other half were put in an ultrasonic bath (UB) (Ultracleaner 1650A, Unique, Indaiatuba-SP, Brazil) for 2 min at 25 kHz. The short time was adopted because prolonged times in the UB would promote the heat of the solution, favoring the volatilization of ethanol. All samples were then filtered in a PTFE syringe filter (Chromafil Xtra 45/25, Macherey-Nagel, Duren, Germany) to a 1.5 ml vial and the GC-FID analysis was performed.*

*The calibration was done in a gas chromatograph with a flame ionization detector (GC 2010, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan) with four solutions of ethanol (Honeywell, Charlotte, USA) ranging from 2.0 % to 20.0 % of mass fraction in *n*-butanol, prepared in a laboratory. The GC programming was as follows: inlet temperature: 250 °C; injection mode: split (1:50); carrier gas: helium (3.00 ml/min); column: Poraplot Q (10 m x 0,32 mm x 0,10 µm, Agilent, Santa Clara, USA); oven temperature: initial 85 °C for 2 min, ramp of 35 °C/min up to 260 °C, maintained for 5 min (total run time: 15 min); detector temperature: 280 °C; injected volume: 0.5 µL. The software for data acquisition and processing was the GC Solutions (version 2.40.00; Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan). The identification of the ethanol peak was done by comparison with the retention time (RT) of the standard solutions (expected RT for this configuration: 3.8 min). All calibration points were analyzed in triplicate.*

3 Results and Discussion

The calibration curve obtained is presented in Figure 1. The regression coefficient (r^2) for this curve was 0,9999 with a relative standard deviation (RSD) of 5.64 % which denotes good linearity for the proposed working range. The results for ethanol content in the seven samples are presented in Table 1. An aliquot of sample G was also injected in triplicate on the GC system to assess the method variability, the results of this replicate are also presented in Table 1.

Figure 1- Calibration curve.



Source: prepared by the authors

Table 1- Quantitative results for ethanol in alcohol gel samples (mass fraction in %)

Sample	Replicates (preparations)									
	Handshake			Mean	CV %	Handshake			Mean	CV %
	1	2	3			1	2	3		
A	61.9	52.7	47.2	53.9	13.8	63.5	62.3	61.0	62.3	2.0
B	50.6	59.3	59.5	56.4	9.0	60.6	60.5	61.1	60.7	0.6
C	64.8	64.2	64.9	64.7	0.6	63.9	63.9	64.9	64.2	0.9
D	63.0	62.1	61.2	62.1	1.4	64.0	63.5	64.0	63.8	0.4
E	65.3	65.2	59.7	63.4	5.1	65.6	65.6	64.7	65.3	0.8
F	65.3	56.7	63.5	61.8	7.4	63.5	63.1	64.2	63.6	0.9
G	64.8	62.6	61.8	62.8	2.9	63.3	65.0	64.4	64.2	1.3

Repeatability test	Injection 1	Injection 2	Injection 3	Mean	CV (%)
G (Handshake 1)	64.8	63.5	64.6	64.3	1.1

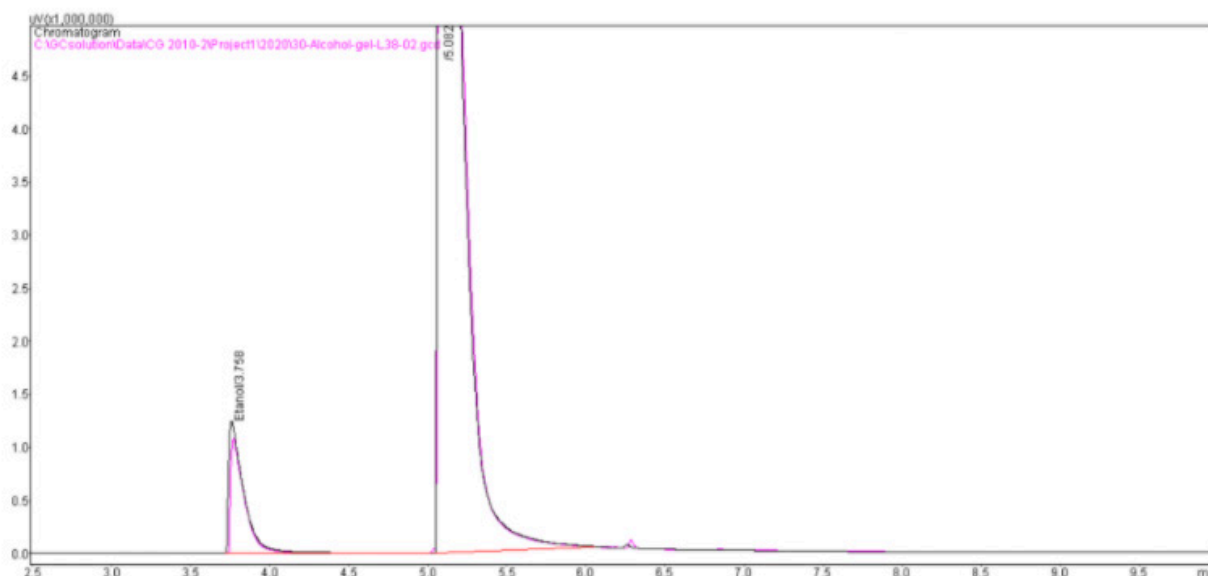
* CV = coefficient of variation

Source: prepared by the authors

All samples showed ethanol mass fractions ranging from 53.9% to 65.3% which is below the declared label concentration and the ANVISA's specifications for alcohol gel formulations (ANVISA, 2002). This difference may be attributed to the manufacturing process which requires long times of the homogenization step in order to incorporate the ethanol into the gel matrix. As ethanol is a quite volatile substance, if the formulation does not account for some losses due to volatilization along its production process, the final concentration can be rather lower than the theoretical value.

Figure 2 shows the chromatographic profile of Sample D, where no interfering compounds can be seen, indicating a good specificity of the method. The coefficient of variation (CV) for the replicate analysis of Sample G (preparation handshake 1) shows also good repeatability of the GC system. As for the comparison between hand-shaking and the ultrasonic-bath (UB) shaking in sample preparation, the CV indicates that UB is the best recommended method as it increases the reproducibility of the results. A statistical analysis also indicates a difference in results obtained by the two preparation techniques (F test; $p = 0.033$). The difference can be explained by the viscous nature of the sample matrix which adheres to the inner surfaces of the glassware and makes it difficult to completely dissolve just by hand shaking. An ultrasonic bath has been proved an efficient tool for a sample preparation in analytical chemistry, because it promotes the homogenization and agitation of solutions in the molecular level, producing more reproductive results and improving recoveries in extraction applications (ASHLEY et al., 2001; Zuo et al., 2004).

Figure 2- Chromatographic profile of Sample D (in red) compared to the calibration point 3 (in black).



Source: prepared by the authors

4 Conclusions

The herein developed method has shown good repeatability, reproducibility, and specificity within the application range which are important validation parameters to demonstrate the applicability of a given analytical method. From sample preparation to obtained results, the total time of analysis was 20 minutes, which is quite fast for chromatographic methods.

An ultrasonic bath seems to be a more reliable tool for sample homogenization than hand-shaking, which can be seen by the lower CV of samples prepared by the former technique. Moreover, it was also noticed that screw cap vials are better suited for sample weighing than volumetric flasks, as gel samples would stick to the inner surfaces of the flasks, making the addition of solvent difficult.

All samples showed ethanol concentrations below the minimum content specified by ANVISA for alcohol gel formulations. Regardless of the process, or formulation issues, it is important to implement a systematic monitoring strategy to assure that products being commercialized during the present pandemic event are safe to be used by the population and do not pose another threat for people's health.

5 References

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução de diretoria colegiada nº 46, de 21 de fevereiro de 2002. *Diário Oficial da União*, n. 35, 21 Feb 2020. 5 p. Available on: http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_46_2002_COMP.pdf/172719b2-114a-413f-82b7-7272feaca832. Access on: 04/02/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução da diretoria colegiada – RDC Nº 42, de 25 de outubro de 2010. *Diário oficial da União*, n. 205, 26 out 2010. 5p. Available on: http://portal.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_42_2010_.pdf/9080b696-f63e-4d9d-a5ca-7dad05474ca4. Access on: 04/02/2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Nota técnica Nº 01/2019 – GHCOS/DIRE3/ANVISA. *Antissépticos a base de álcool*. 2019. ANVISA. 4p.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. *Orientações gerais para produção de formulações antissépticas alcoólicas*. 2020. ANVISA:Brasília. 6p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM E1174-13: Standard Test Method for Evaluation of the Effectiveness of Health Care Personnel Handwash Formulations*, ASTM International: West Conshohocken, PA, 2013. DOI: 10.1520/E1174-13.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM E2755-15: Standard Test Method for Determining the Bacteria-Eliminating Effectiveness of Healthcare Personnel Hand Rub Formulations Using Hands of Adults*, ASTM International: West Conshohocken, PA, 2015. DOI: 10.1520/E2755-15.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. *ASTM E3058-16: Standard Test Method for Determining the Residual Kill Activity of Hand Antiseptic Formulations*, ASTM International: West Conshohocken, PA, 2016. DOI: 10.1520/E3058-16

ASHLEY, K.; ANDREWS, R.N.; CAVAZOS, L.; DEMANGE, M. Ultrasonic extraction as a sample preparation technique for elemental analysis by atomic spectrometry. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, v. 16, n. 10, p. 1147-1153. 2001. DOI: 10.1039/B102027G.

CONSELHO FEDERAL DE QUÍMICA. *Nota oficial: Esclarecimentos sobre álcool gel caseiro, limpeza de eletrônicos e outros*. CFQ, 18 Mar 2020. Available on: <http://cfq.org.br/noticia/nota-oficial-esclarecimentos-sobre-alcool-gel-caseiro-higienizacao-de-eletronicos-e-outros/>. Access on: 04/02/2020.

FUCUCHIMA, L. WEG vai produzir álcool gel para doar a hospitais públicos de Santa Catarina. *Valor Econômico*, 26 Mar 2020. Available on: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2020/03/26/weg-vai-produzir-lcool-gel-para-doar-a-hospitais-pblicos-de-santa-catarina.ghtml>. Access on: 04/02/2020.

HERNANDES, S.E.D.; MELLO, A.C.; SANT'ANA, J.J.; SOARES, V.S.; CASSIOLATO, V.; GARCIA, L.B.; CARDOSO, C.L. The effectiveness of alcohol gel and other hand-cleaning agents against important nosocomial pathogens. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 35, p. 33-39. 2004. ISSN: 157-8382.

KAMPF, G. Efficacy of ethanol against viruses in hand disinfection. *Journal of Hospital Infection*, v. 98, n. 4, p. 331-338. 2018. DOI: 10.1016/j.jhin.2017.08.025.

KAMPF, G.; TODT, D.; PFAENDER, S.; STAINMANN, E. persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *Journal of Hospital Infection*, v. 104, p. 246-251. 2020. DOI: 10.1016/j.jhin.2020.01.022.

JANSEN, K. How we know disinfectants should kill the COVID-19 coronavirus. *Chemical and Engineering News*, 13 Mar 2020. Available on: <https://cen.acs.org/biological-chemistry/infectious-disease/How-we-know-disinfectants-should-kill-the-COVID-19-coronavirus/98/web/2020/03>. Access on: 04/07/2020.

LABBATE, M. Como as empresas privadas estão socorrendo o setor de saúde no Brasil. *Forbes*, 27 Mar 2020. Available on: <https://forbes.com.br/colunas/2020/03/como-as-empresas-privadas-estao-socorrendo-o-setor-de-saude-no-brasil/>. Access on: 04/02/2020.

LEMOS, A. Grandes empresas de destilados doam álcool para hospitais durante crise do coronavírus. *Folha de São Paulo*, 27 mar 2020. Available on: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2020/03/grandes-empresas-de-destilados-doam-alcool-para-hospitais-durante-crise-do-coronavirus.shtml>. Access on: 04/02/2020.

PARK, G.W.; BARCLAY, L.; MACINGA, D.; CHARBONNEAU, D.; PATTIGREW, C.A.; VINJÉ, J. Comparative efficacy of seven hand sanitizers against Murine Norovirus, Feline Calicivirus, and GII.4 Norovirus. *Journal of Food Protection*, v. 73, n. 12, p. 2232-2238. 2010. DOI: 10.4315/0362-028X-73.12.2232.

RABENAU, H.F.; KAMPF, G.; CINATL, J.; DOERR, H.W. Efficacy of various disinfectants against SARS coronavirus. *Journal of Hospital Infection*, v. 61, p. 107-111. 2005.

REYNOLDS, S.A.; LEVY, F.; WALKER, E.S. Hand Sanitizer Alert. *Emerg. Infec. Dis.*, v. 12, n. 3, p. 527 – 529. 2006. DOI: 10.3201/eid1203.050955.

RIBEIRO, J. Em falta no mercado, álcool em gel é vendido nos vagões do Metrô de SP. *Portal R7*, 19 Mar 2020. Available on: <https://noticias.r7.com/sao-paulo/em-falta-no-mercado-alcool-em-gel-e-vendido-nos-vagoes-do-metro-de-sp-19032020>. Access on: 04/02/2020.

RIDLEY, N. Effective hand hygiene – wash your hands and reduce the risk. *British Journal of Nursing*, v. 29, n. 1. 2020. DOI: 10.12968/bjon.2020.29.1.10.

SANDES, A.; PEREIRA, F. Funcionários relatam falta de álcool gel e luvas em hospitais de São Paulo. *Notícias UOL* 19 Mar 2020. Available on: <https://noticias.uol.com.br/saude/ultimas-noticias/redacao/2020/03/19/funcionarios-relatam-falta-de-alcool-gel-e-luvas-em-hospitais-de-sao-paulo.htm>. Access on: 04/02/2020.

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. Food and Drug Administration. Center for Drug Evaluation and Research (CDER). Policy for temporary compounding of certain alcohol-based hand sanitizer products during the public health emergency immediately in effect guidance for industry. 2020. FDA:Rockville, MD. 8 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *WHO guidelines on hand hygiene in health care*. 2009. WHO:Geneva. 263 p. ISBN: 978 92 4 159790 6.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guide to local production: WHO-recommended handrub formulations*. 2010. WHO, 9 p.

ZUO, Y.; ZHANG, L.; WU, J.; FRITZ, J.W.; MEDEIROS, S.; REGO, C. Ultrasonic extraction and capillary gas chromatography determination of nicotine pharmaceutical formulations. *Analytica Chimica Acta*, v. 526, n. 1. P. 35-39. 2004. DOI: doi.org/10.1016/j.aca.2004.09.035.

DOI 10.34033/2526-5830-v4n14-4



Emissão de óxidos de enxofre (SO_x) na combustão industrial

Sulphur oxides emission (SO_x) in industrial combustion

Renato Vergnhanini Filho^{a*}

^a Laboratório de Engenharia
Térmica, Centro de Tecnologia
Mecânica, Naval e Elétrica,
Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São
Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: vergnhan@ipt.br

Resumo

Os óxidos de enxofre (SO_2 e $SO_3 - SO_x$) são formados nas indústrias pela queima de combustíveis fósseis que têm enxofre em sua composição (óleo combustível, carvão mineral). Eles são considerados poluentes atmosféricos, pela sua ação no meio ambiente e o SO_3 tem, ainda, o agravante de reagir com a água dos gases de combustão e formar ácido sulfúrico (H_2SO_4), que pode se condensar e provocar corrosão no interior dos equipamentos. A emissão de SO_x pode ser reduzida atuando-se diretamente no combustível ou instalando-se sistemas de dessulfuração nas chaminés dos equipamentos. Nos trabalhos de pesquisa e desenvolvimento, e de prestação de serviços à indústria realizados pelo LET, as emissões de SO_x são calculadas, utilizando-se aplicativo desenvolvido pelo Laboratório ou são medidas, empregando-se instrumentação prescrita em normas.

Palavras-chave:

óxido de enxofre (SO_x);
combustão industrial; poluição
atmosférica.

Keywords:

sulfur oxides (SO_x); industrial
combustion; air pollution.

Abstract

In Industries, sulfur oxides (SO_2 and $SO_3 - SO_x$) are formed by burning of fossil fuels (oil, mineral coal) which have sulfur in their composition. These oxides are considered air pollutants due to their action on the environment. SO_3 also has the aggravating factor of reacting with water from the combustion gases to form sulfuric acid (H_2SO_4) which can condense and cause corrosion inside the equipment. The emission of SO_x can be reduced by acting directly on the fuel or by installing desulfurization systems in the equipment chimneys. In research and development, and in rendering services to industry carried out by LET, SO_x emissions are calculated using an application developed by the Laboratory or are measured using instrumentation prescribed in standards.

1 Introdução

Na queima dos combustíveis fósseis utilizados pela indústria, o enxofre presente na sua composição é, em sua maioria, oxidado a dióxido de enxofre - SO_2 e a trióxido de enxofre - SO_3 . Denominam-se óxidos de enxofre - SO_x , a soma SO_2 mais SO_3 .

O SO_x lançado na atmosfera causa problemas ambientais e o SO_3 , reagindo com a água dos gases de combustão leva à formação de ácido sulfúrico - H_2SO_4 , que tem forte ação corrosiva no interior dos equipamentos de combustão.

2 Enxofre no combustível

O carvão mineral e, sobretudo, os óleos derivados do petróleo ("óleos combustíveis") são os combustíveis fósseis mais utilizados pela indústria no Brasil. A Agência Ambiental dos Estados Unidos (EPA) considera que, na queima de óleo em processos convencionais de combustão, a conversão do enxofre do combustível a SO_2 seja superior a 95 % - o restante do enxofre é oxidado a SO_3 (1 % a 5 %) ou forma sulfatos (1 % a 3 %) pela sua reação com as cinzas do óleo (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1997). A EPA considera que na queima de carvão, a formação do SO_2 também seja preponderante.

Os óleos combustíveis nacionais são classificados pela Agência Nacional de Petróleo (1999) de acordo com o teor de enxofre (tipo A, a partir de 1,0 % até 2,5 % e tipo B, até 1 %) e viscosidade (Tabela 1).

2 Óxidos de enxofre na atmosfera

Quando se está preocupado unicamente com a poluição ambiental é usual considerar que todo o enxofre do combustível é lançado na atmosfera unicamente como SO_2 sendo, muitas vezes, " SO_x " e " SO_2 " tratados como "sinônimos" (CETESB, 2019).

Os óxidos de enxofre são classificados como poluentes primários, que são aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão. No homem, causam irritações no sistema respiratório e na pele, e podem levar ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares. Os principais sintomas aparentes ao ser exposto a esses gases é tosse, irritação nos olhos, náuseas, vômitos e dificuldades na respiração.

O SO_x também está associado à formação de chuva ácida devido à sua tendência a reagir com a H_2O presente no ar e formar ácido sulfúrico, que é classificado como poluente secundário, que faz parte daqueles formados na atmosfera através da reação química entre poluentes e/ou constituintes naturais presentes na atmosfera. O H_2SO_4 é um dos responsáveis pela chuva ácida, que afeta as plantas, reduzindo a taxa de fotossíntese, eleva a acidez do solo, rios e lagos, causando a morte de espécies e corrói a estrutura de monumentos e edificações.

Tabela 1 - Especificação dos óleos combustíveis nacionais.

Característica	Unidade	Tipo A1	Tipo A2	Tipo B1	Tipo B2
Viscosidade cinemática a 60 oC, máx.	mm ² /s (cSt)	620	960	620	960
Viscosidade SSF a 50 °C, máx.	s	600	900	600	900
Enxofre, máx.	% em massa	2,5	2,5	1,0	1,0
Água e sedimentos, máx	% em volume	2,0			
Ponto de fulgor, mín.	°C	66			
Vanádio, máx.	mg/kg	200			
Ponto de fluidez superior, máx.	°C	entre 15 e 27, dependendo do estado brasileiro e da época do ano			

Fonte: Agência Nacional de Petróleo (1999)

4 Legislação ambiental nacional (VERGNHANINI, 1986)

A legislação nacional vigente, em concordância com a tendência internacional, estabelece como prioritário o controle da poluição atmosférica pelos padrões de emissão de poluentes, reservando o uso de padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle (VERGNHANINI, 1986).

Os padrões nacionais de emissão ("determinam a quantidade máxima permissível do poluente que pode ser emitida por uma determinada fonte poluidora") para o SO_x, como SO₂, foram estabelecidos nas resoluções CONAMA nº 382 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006) e nº 436 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2011). Por exemplo, os padrões de emissão referentes a equipamentos industriais de combustão operando com óleo combustível e em que não há contato direto dos produtos da combustão com o material ou produto processado (caldeiras, aquecedores de fluido térmico e fornos petroquímicos, por exemplo) são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Padrões nacionais de emissão para o SO_x, como SO₂, na queima de óleo combustível

Potência térmica nominal (MW) *	SO _x , como SO ₂ (mg/Nm ³ , base seca, referido a 3,0 % de O ₂)
Menor que 10	2700
Entre 10 e 70	2700
Maior que 70	1800

* Obtida pela multiplicação da quantidade de combustível queimado por unidade de tempo (vazão) pelo poder calorífico inferior (PCI) do combustível.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2006 e 2011)

As legislações CONAMA nºs 382 e 436 não incluem o carvão mineral. As fontes de combustão que operam a carvão devem obedecer a uma legislação CONAMA mais antiga, a de nº 8 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 1990) que fixa os padrões de emissão para o SO_x mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Padrões nacionais de emissão para o SO_x, como SO₂, na queima de carvão mineral

Potência térmica nominal (MW) *	SO _x , como SO ₂ (10 ⁶ g/kcal)
(1) Áreas de preservação, lazer e turismo:	
Menor ou igual a 70	2000
Maior que 70	fontes não permitidas
(2) Demais áreas:	
Menor ou igual a 70	5000
Maior que 70	2000

* Obtida pela multiplicação da quantidade de combustível queimado por unidade de tempo (vazão) pelo poder calorífico superior (PCS) do combustível.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2006 e 2011)

Os padrões nacionais de qualidade do ar ("determinam o valor limite legal para a concentração do poluente no meio ambiente") para o SO_x , como SO_2 , estabelecidos na resolução CONAMA nº 491 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2018) são mostrados na Tabela 4. Na Região Metropolitana de São

Tabela 4 - Padrões nacionais de qualidade do ar para o SO_x , como SO_2 .

Tempo de amostragem	SO_x , como SO_2 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)			
	PI 1 *	PI 2 *	PI 3 *	PF **
24 horas	125	50	30	20
Média aritmética anual	40	30	20	-

* PI: padrões de qualidade do ar intermediários; padrões estabelecidos como valores temporários a serem cumpridos em etapas.

** PF: padrão de qualidade do ar final; valores guia definidos pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2018)

Paulo - RMSP, os níveis de óxidos de enxofre na atmosfera vêm sendo reduzidos lentamente ao longo dos anos como resultado, principalmente, da redução do teor de enxofre dos combustíveis, tanto industrial como automotivo e do controle exercido sobre as fontes fixas (indústrias), consideradas como as principais responsáveis pelas emissões.

5 Corrosão em processos industriais de combustão devida ao SO_3 (USHIMA, 1986)

Quando a preocupação é com a integridade do equipamento de combustão, a fração do enxofre do combustível que é convertida a SO_3 passa a ser importante, pois ele pode causar sua corrosão. Diversos trabalhos têm mostrado que essa fração convertida, tipicamente entre 1 % a 5 %, conforme comentado anteriormente, numa caldeira, será tanto menor quanto menores forem a carga e o excesso de ar (USHIMA, 1986).

Em equipamentos de combustão, podem ocorrer dois tipos básicos de corrosão relacionados à presença de enxofre nos combustíveis: corrosão a alta temperatura, acima de 400 °C e a baixa temperatura, normalmente abaixo de 180 °C.

5.1 Corrosão a alta temperatura

Na queima de combustíveis contendo enxofre e metais, formam-se óxidos metálicos complexos de baixo ponto de fusão (~ 600 °C), principalmente de sódio e vanádio [$\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{V}_2\text{O}_4\cdot 5\text{V}_2\text{O}_5$; $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{V}_2\text{O}_5$; $2\text{Na}_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_3$]. Os óxidos tendem a se depositar, por difusão ou por impacto, na forma fundida (*slagging*) ou sinterizada (*fouling*), sobre as superfícies metálicas internas do equipamento de combustão, permitindo a migração do SO_3 da camada limite gasosa para as superfícies, causando a sua corrosão. No caso de caldeiras, aquecedores de fluido térmico e fornos petroquímicos, os depósitos sólidos também provocam a redução nas trocas de calor dos gases com o fluido a ser aquecido.

Uma forma de reduzir a corrosão a alta temperatura é adicionar aditivo ao combustível, geralmente magnésio na forma de óxido ou de organometálico que leve à formação principal de óxidos, também complexos, porém de ponto de fusão acima de 1000 °C [$\text{MgO}\cdot\text{V}_2\text{O}_4$; $\text{Na}_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$].

5.2 Corrosão a baixa temperatura

No interior do equipamento de combustão, em regiões abaixo de 400 °C, o SO_3 tende a reagir com a água geralmente presente nos gases de combustão e formar H_2SO_4 que, na fase líquida, provoca corrosão nas superfícies metálicas internas do equipamento propriamente e de periféricos em contato com os gases como trocadores de calor, ventiladores, sistemas de limpeza de gases e chaminé. Ocorre a reação: $\text{SO}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{g})$

A temperatura na qual as primeiras gotas de soluções aquosas de H_2SO_4 se formam é chamada, embora indevidamente, de "ponto ou temperatura de orvalho de ácido sulfúrico" (Quadro 1). O nome é indevido porque essa definição somente se aplica a substâncias puras e não a soluções.

Quadro 1 - Ponto ou temperatura de orvalho de ácido sulfúrico

Ponto ou temperatura de orvalho de ácido sulfúrico
 "Temperatura na qual ocorre a formação da primeira gota de uma solução de ácido sulfúrico com água, em equilíbrio com o gás, a uma dada temperatura e pressão"

Fonte: elaborado pelo autor

A temperatura de orvalho de ácido sulfúrico pode ser determinada pela expressão (OKKES, 1987):

$$T = 203,25 + 27,6 * \log_{10}C_{\text{H}_2\text{O}} + 10,83 * \log_{10}C_{\text{SO}_3} + 1,06 * (\log_{10}C_{\text{SO}_3} + 8)2,19$$

Onde:

T = temperatura de orvalho de ácido sulfúrico (°C)

$C_{\text{H}_2\text{O}}$ = concentração de água dos gases (em volume)

C_{SO_3} = concentração de SO_3 dos gases (em volu

Evita-se a corrosão a baixa temperatura, mantendo-se as superfícies metálicas internas do equipamento de combustão em contato com os gases a temperaturas acima do ponto de orvalho de ácido sulfúrico ou utilizando-se materiais resistentes à corrosão por H_2SO_4 como aço inoxidável AISI 316, Hastelloy™ e materiais cerâmicos como vidro boro-silicato.

6 Técnicas de controle das emissões de óxidos de enxofre

As técnicas de controle das emissões de SO_x em processos de combustão industrial dividem-se em três grupos: as aplicadas ao combustível, as aplicadas ao processo e as aplicadas aos gases de combustão. As primeiras consistem na redução do teor de enxofre do combustível, nem sempre tecnicamente possíveis e nem sempre economicamente viáveis.

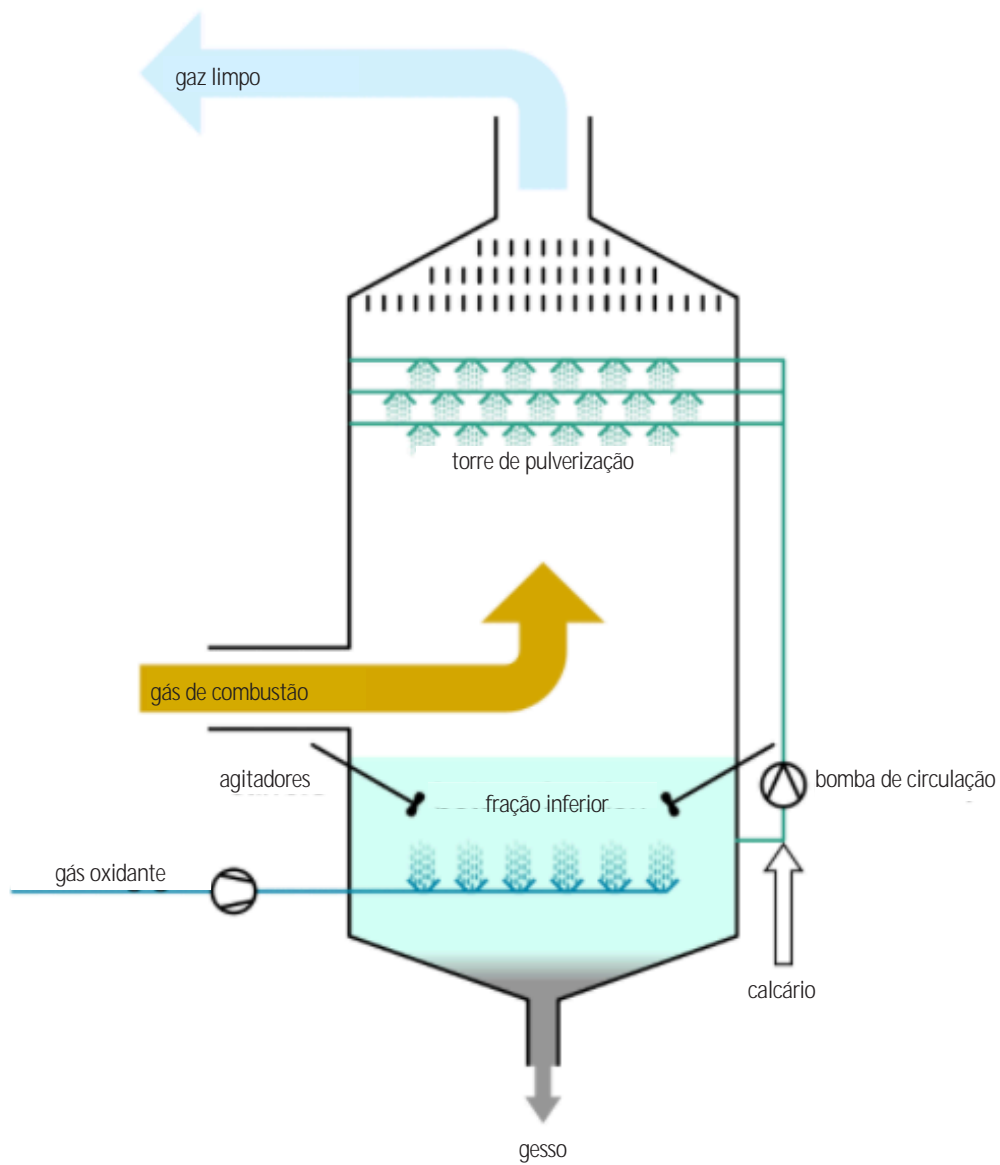
As técnicas aplicadas ao processo se restringem aos de leito fluidizado e consistem na mistura de dolomita ao combustível (carbonato de cálcio ou magnésio) com o objetivo de, na fornalha, reagir com os óxidos de enxofre, formando sulfatos, de fácil remoção do leito.

As técnicas aplicadas aos gases de combustão são chamadas de dessulfuração ou dessulfurização, sendo comum o emprego da sigla *FGD - Flue Gas Desulfurization*. Os processos de dessulfuração se dividem em: secos, semi-secos e úmidos. Esses últimos, mundialmente mais empregados, são denominados de acordo com o reagente utilizado e os mais conhecidos são os processos:

- Soda: $Na(OH) + SO_x \rightarrow Na_2SO_4$
- Amônia: $NH_3 + SO_x \rightarrow NH_4SO_4$
- Cálcio: $CaCO_3 / Ca(OH)_2 + SO_x \rightarrow CaSO_4$ (gesso)

Pela elevada eficiência de remoção do SO_x (superior a 90 %), disponibilidade e custo do reagente, e obtenção de um produto de maior valor agregado (gesso), o processo cálcio vem sendo utilizado com maior frequência (Figura 1).

Figura 1 - Processo cálcio de dessulfuração.



Fonte: SDREPORTS (2018)

7 Métodos de determinação do teor de óxidos de enxofre dos gases de combustão

A concentração de SO_2 dos gases pode ser determinada por estequiometria, tendo-se a composição do combustível e o excesso de ar de combustão (ou o teor de O_2 dos gases de combustão), na hipótese de que todo o enxofre do combustível seja convertido unicamente a SO_2 .

Alternativamente, a concentração de SO_2 dos gases pode ser medida, utilizando-se metodologias prescritas pela EPA. São prescritos os métodos nº 6 (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1997), descontínuo e em via úmida e o método nº 6C (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1997), contínuo e em via seca. Esse último, estabelece o uso de analisadores contínuos que operam, geralmente, pelo princípio da absorção da radiação infravermelha não dispersiva.

Há, também, o método EPA nº 8, descontínuo e em via úmida (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2019), que permite a medição das concentrações de SO_2 e de $\text{SO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ dos gases.

8 Atuação do IPT

8.1 Determinação do teor de óxidos de enxofre dos gases gerados na combustão

Nos trabalhos realizados pelo LET, seja de pesquisa e desenvolvimento, seja de prestação de serviços à indústria é necessário, algumas vezes, conhecer a concentração de óxidos de enxofre dos gases de combustão gerados num determinado equipamento. Para essas circunstâncias, o LET desenvolveu um aplicativo que realiza cálculos estequiométricos, denominado "AComb" (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1995) e adquiriu instrumentos para a aplicação dos métodos EPA de determinação de óxidos de enxofre em gases.

Por exemplo, utilizando o "AComb", a queima de um óleo combustível do tipo 1B (Tabela 1) com teor de enxofre de 1 % irá gerar gases com cerca de 690 ppm (1971 mg/Nm^3) de SO_2 , em volume, base seca e referido à condição estequiométrica (0 % de O_2 nos gases). No caso de um óleo com teor máximo de enxofre (2,5 %; Tabela 1), a concentração de SO_2 dos gases será de 1737 ppm (4963 mg/Nm_3) de SO_2 , em volume, base seca e referido à condição estequiométrica.

O IPT possui instrumentos para a medição contínua da concentração de SO_x dos gases. A Figura 2 mostra fotos de um desses instrumentos, que realiza a análise de SO_2 e de outros constituintes mais comuns dos gases de combustão, e da Van ("Laboratório Móvel") onde instrumentos como este são instalados para trabalhos na indústria.

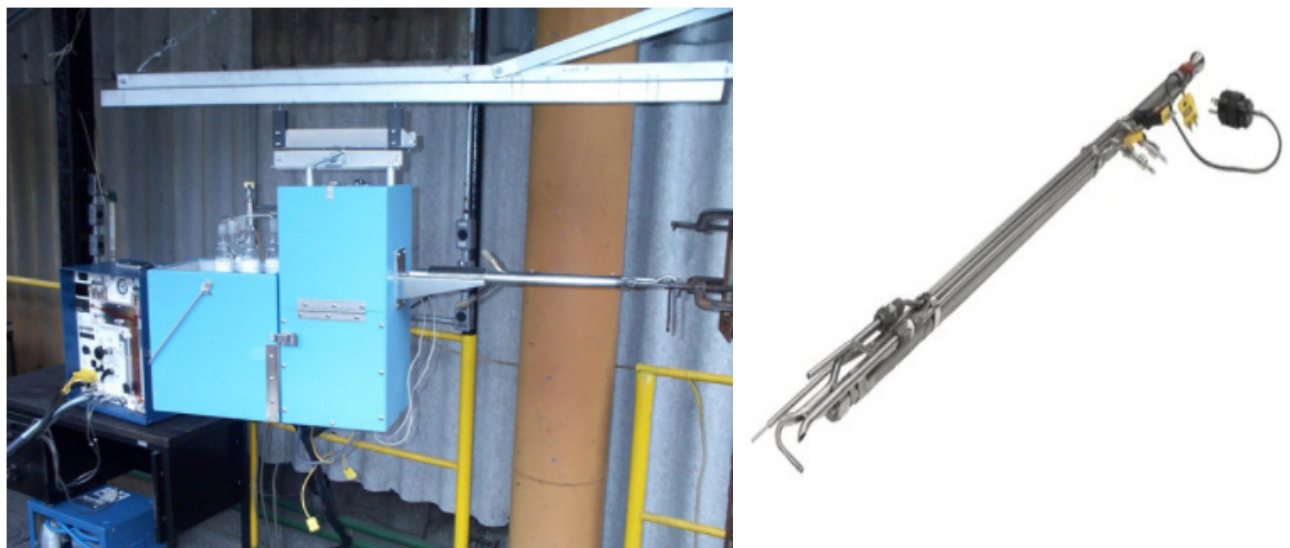
O IPT possui, também, instrumentos para a medição descontínua da concentração de SO_x dos gases utilizando os métodos da EPA. A Figura 3 mostra um desses instrumentos, que utiliza o método EPA no 8.

Figura 2 - Analisador de gases e Laboratório Móvel do IPT na indústria



Fonte: acervo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Figura 3 - Instrumento de medição pelo método EPA no 8 e detalhe da sonda de amostragem

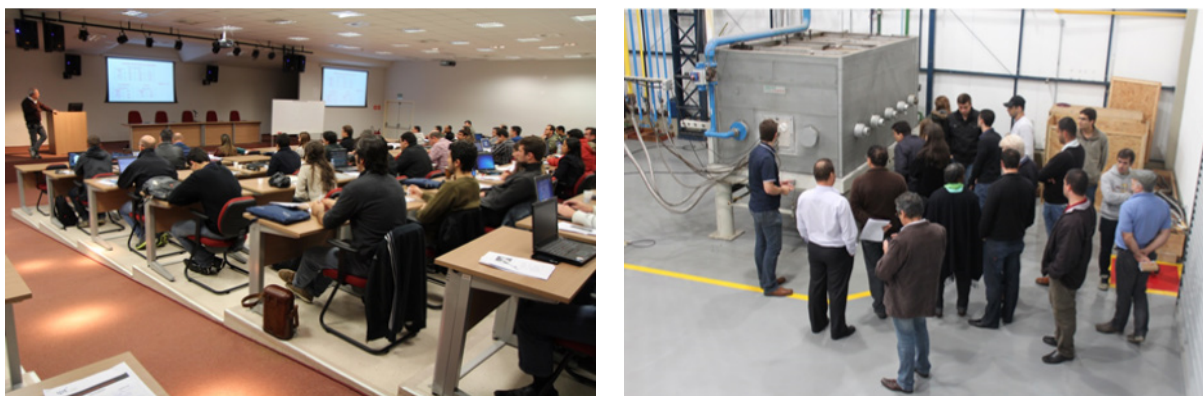


Fonte: acervo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

8.2 Disseminação de conhecimento

A difusão do conhecimento referente aos óxidos de enxofre que vem sendo adquirido pela equipe do LET tem sido feita por meio da publicação de artigos, da participação em eventos e, principalmente, da apresentação do tema nos cursos "Combustão industrial", ministrado anualmente pelo IPT desde 1986 nas modalidades aberta (Figura 4) e *in-company*, e "Análise de gases de combustão na indústria", ministrado também anualmente desde 2017.

Figura 4 - Aulas teórica e prática do curso de "Combustão industrial" ministrado no IPT



Fonte: acervo do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

9 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Portaria no 80, 30 de abril de 1999. Estabelece o Regulamento Técnico ANP nº 003/99, anexo a esta Portaria, que especifica os óleos combustíveis de origem nacional ou importados a serem comercializados em todo o território nacional. *Diário Oficial da União*, Brasília, 3 maio 1999.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. *Qualidade do ar no Estado de São Paulo 2018*. São Paulo: CETESB, 2019. (Série Relatórios).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. *AComb - análise de combustíveis industriais*. Aplicativo de autoria de Clayton Dimas Ribeiro Fernandes com registro no INPI em 14.06.1995 sob no 01127, em nome do IPT.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 8, de 6 de dezembro de 1990. Dispõe sobre o estabelecimento de limites máximos de emissão de poluentes no ar para processos de combustão externa de fontes fixas de poluição. *Diário Oficial da União*, Brasília, 28 dez. 1990. p. 25539.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2 jan. 2007. p. 131.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 436, de 22 de dezembro de 2011. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. **Diário Oficial da União**, Brasília, 26 dez. 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. **Diário Oficial da União**, Brasília, 21 nov. 2018. p. 155.

OKKES, A. G. Get acid dew point of flue gases. **Hydrocarbon Processing**, v.66(7), , n.7, p.53-55, 1987.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. External combustion sources. volume 1: stationary point and area sources. In: AP-42, **Compilation of air pollutant emission factors**. 5th ed. Washington: EPA, 1997. v. 1, cap. 1.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 6C: Determination of sulfur dioxide emissions from stationary sources (instrumental analyser procedure). **Air Emission Measurement Center (EMC)**, 02 aug. 2017

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 6: Determination of sulfur dioxide emissions from stationary sources. **Air Emission Measurement Center (EMC)**, 03 aug. 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 8: Determination of sulfuric acid and sulfur dioxide emissions from stationary sources. **Air Emission Measurement Center (EMC)**, 08 jan. 2019.

USHIMA, A. H. Formação de poluentes em processos industriais de combustão: compostos de enxofre (SO_x). São Paulo: IPT, 1986, 38 p. (Apostila do Curso Combustão Industrial).

VERGNHANINI FILHO, R. Formação de poluentes em processos industriais de combustão: introdução. São Paulo: IPT, 1986, 9 p. (Apostila do Curso Combustão Industrial).

DOI 10.34033/2526-5830-v4n14-5



Caracterização de carregamentos de campo sobre sistema fluvial de contenção de detritos

Characterization of field loads on a fluvial-debris retention system

Rynaldo Zanotele Hemerly de Almeida^{a*}, João Carlos Sávio Cordeiro^a, Luiz Eduardo Lopes^b

a Laboratório de Equipamentos Mecânicos e Estruturas, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

b Departamento de Engenharia Mecatrônica e Sistemas Mecânicos, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: rynaldo@ipt.br

Palavras-chave:
contenção de detritos;
extensometria; usina hidrelétrica.

Keywords:
*log boom; extensometry;
hydroelectric plant.*

Resumo

Durante períodos de cheia, diversos rios arrastam grande quantidade de detritos, notadamente troncos de árvores, que podem se dirigir a estruturas como pilares de pontes e, especialmente, tomadas de água de turbinas de usinas hidrelétricas. Para evitar danos operacionais às turbinas são normalmente utilizados sistemas de contenção de detritos (*log booms*). No caso especial do Rio Madeira, a Hidrelétrica Santo Antônio enfrenta condições atípicas de volume de material e velocidade de correnteza (alcançando até 9000 troncos por dia e 3 m/s), que resultaram na falha estrutural de componentes de alguns sistemas desse tipo. Para solucionar este problema, foram desenvolvidos procedimentos experimentais, baseados em extensometria, para a caracterização de cargas atuantes no sistema. Neste trabalho, são apresentados esses procedimentos, bem como os resultados obtidos, destacando-se os de distribuição de carga entre elementos estruturais, que foram significativamente diferentes dos admitidos originalmente para o projeto do sistema.

Abstract

During high-flow season, many rivers carry a great quantity of debris, mainly tree trunks, that may be transported to structures as bridges columns and water intakes of hydroelectric plant turbines. In order to avoid operational damage to the turbines, debris retention systems (log booms) are usually employed. In the special case of Madeira River, Santo Antônio Hydroelectric Plant deals with atypical conditions of debris volume and flow velocity (reaching up to 9000 tree trunks per day and 3 m/s) which resulted in structural failure of systems components. To solve this problem, experimental procedures based on extensometry were developed to assess the loads on the log booms. This work presents the developed procedures as well as the obtained results, especially on the load distributions among structural elements, which were significantly different from the ones originally assumed for the design of the retention system.

1 Introdução

A contenção de detritos é uma necessidade em diversos rios do mundo, seja pela preservação de estruturas de pontes, seja para evitar o acúmulo de detritos na tomada de água de turbinas hidrelétricas. Existem soluções variadas conforme as particularidades das aplicações e das condições ambientais (TYLER, 2011; WAHL, 1992; ABDELNOUR et al., 2015 e HAMID et al., 2015). Na Usina Hidrelétrica Santo Antônio, instalada no Rio Madeira (Porto Velho-RO, Brasil), é estimada a chegada de até 9.000 troncos de árvores por dia durante picos de cheia, que podem se estender de fevereiro a maio de cada ano. Além do considerável volume de material, as velocidades de correnteza do rio são da ordem de 2 m/s sob condições normais de operação e podem chegar a 3 m/s em condições extremas de vazão, conforme estimativa da Santo Antônio Energia, que impedem que sejam executadas operações de limpeza do sistema de contenção nesses períodos. Em (WAHL, 1992), por exemplo, as velocidades de correnteza são classificadas nas categorias "leve", "pesada" e "severa", sendo que a última faixa corresponde a 1,4 m/s, velocidade essa inferior àquelas encontradas no Rio Madeira.

Após ocorrências de falhas estruturais em componentes dos sistemas de contenção, do tipo *log boom*, instalados a montante da Hidrelétrica Santo Antônio, decidiu-se pela revisão conceitual desse sistema, por meio de um projeto de pesquisa, analisando o problema de maneira integrada pelo Laboratório de Equipamentos Mecânicos e Estruturas e pelo Laboratório de Engenharia Naval e Oceânica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT.

Construtivamente, os sistemas de contenção são formados por módulos flutuantes, dotados de um anteparo (grade, placa, tela, etc.), interconectados mecanicamente, formando uma denominada linha. As duas extremidades da linha são normalmente ancoradas a estruturas civis de concreto armado. Ao entrar em operação, os módulos são carregados por forças de arrasto decorrentes de suas interações hidrodinâmicas com a correnteza do rio (incluindo efeitos de acúmulo de detritos), fazendo com que a linha assumira uma forma análoga a de uma catenária, porém, disposta segundo o plano horizontal da linha d'água. Assim, as forças de arrasto ficam em equilíbrio mecânico com as forças de tração entre módulos (principais esforços solicitantes estruturais). No caso da Hidrelétrica Santo Antônio, as

forças de tração foram altas o suficiente para a ruptura dos componentes estruturais primários dos módulos de *log boom*, porém, em condições estimadas como admissíveis, segundo as hipóteses do projeto original.

Durante revisão da literatura, notou-se que apesar de existirem trabalhos relacionados à estimativa de forças de arrasto sobre módulos de sistemas de contenção (ABDELNOUR et al., 2015 e HAMID et al., 2015), pouco se discute sobre os esforços entre módulos, provavelmente devido às menores velocidades e cargas envolvidas naqueles casos. Neste trabalho, é apresentado o segmento do projeto de pesquisa que teve foco na caracterização das forças de tração entre módulos do sistema de contenção, notadamente na distribuição de carga entre elementos estruturais, com o objetivo de confrontá-las com as hipóteses adotadas no projeto original do sistema. Em continuidade aos testes exploratórios apresentados em (ALMEIDA, CORDEIRO, LOPES, 2018), optou-se por utilizar instrumentação e medição em campo, uma vez que métodos analíticos ou numéricos poderiam levar a incertezas consideráveis em função da indeterminação de parâmetros relacionados à fabricação e instalação do sistema em campo, além das condições ambientais variadas.

No âmbito mais geral do projeto de pesquisa, os valores de força de tração obtidos em campo serviam também como referência para a validação de modelos numéricos fluido-dinâmicos (KATSUNO, CASTRO, DANTAS, 2017) e multicorpos (ALMEIDA, CORDEIRO, LOPES, 2018), utilizados posteriormente para previsão do comportamento da linha em condições variadas de operação da usina, bem como de demais linhas de *log boom* existentes ou a serem projetadas.

Nas seções a seguir, são descritos o sistema de contenção analisado, os procedimentos utilizados para obtenção de dados de campo, o processamento dos dados para cálculo das forças de tração e os correspondentes resultados.

2 Descrição do sistema de contenção de detritos

No caso específico do sistema em análise, cada módulo é composto por um chassi com três flutuadores, uma tala intermediária e uma grade, como ilustra a **Figura 1**. A grade é composta por dez perfis "I" horizontais, cujas abas servem de anteparo para os detritos.

Na **Figura 2**, é possível observar um trecho do sistema em operação, revelando o volume de material retido, e uma vista aérea do conjunto, abrangendo uma linha completa de *log boom* e seus dois pontos de ancoragem (estruturas robustas de concreto armado), denominados Bloco 11 e Pilar 12.

Figura 1 – Módulo do sistema de contenção de detritos



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 2 – Trecho do sistema em operação no período de cheia (a) e vista aérea sem detritos acumulados (b)

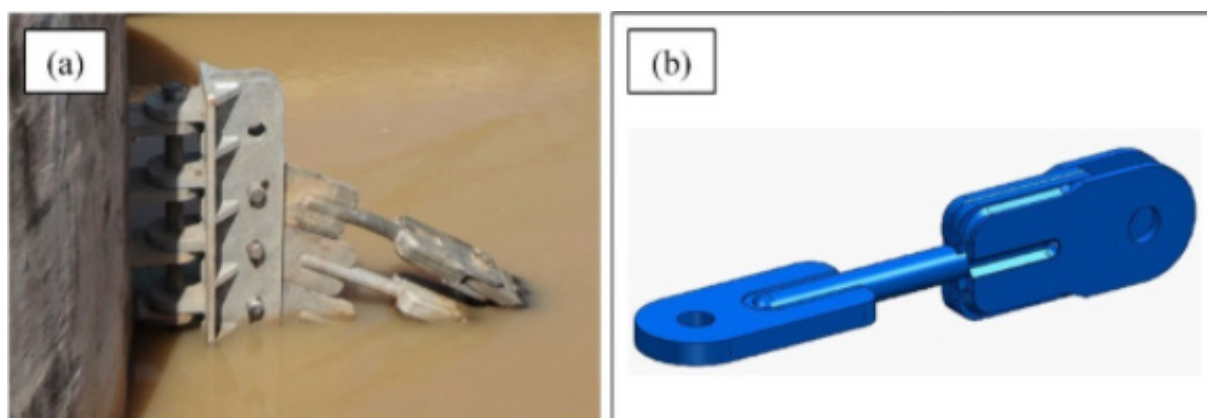


Fonte: (a) Elaborado pelos autores; (b) Google Earth

A interconexão entre módulos é realizada por meio de pinos instalados nos olhais das talas e das grades. Neste caso em estudo, não há ligação direta entre chassis vizinhos. Assim, os elementos estruturais primários do módulo são sua tala e os perfis de sua grade. Nota-se que a tala foi inserida como tentativa emergencial da Santo Antônio Energia para solução do problema de ruptura e não existia no projeto original do sistema.

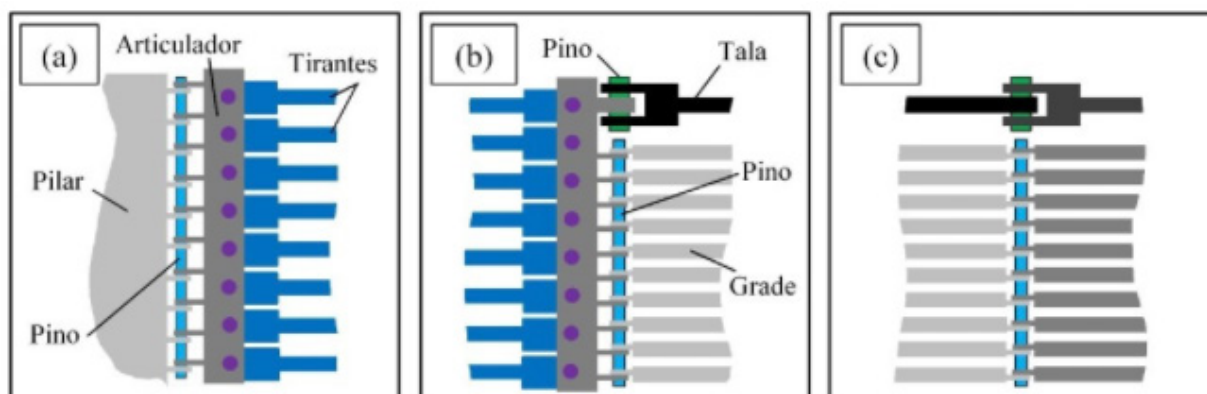
A linha formada pela sequência de módulos é então ancorada em pilares por suas duas extremidades, utilizando-se conjuntos de oito tirantes providos de elos especialmente desenvolvidos para a aplicação. Na Figura 3, pode-se observar a chegada dos tirantes superiores ao denominado Pilar 12 e o detalhe geométrico do projeto de um elo. Na Figura 4, são ilustradas, esquematicamente, as interfaces entre pilar, tirantes e módulos. Nas extremidades dos conjuntos de tirantes, são utilizadas peças denominadas articuladores, nos quais os tirantes são conectados por pinos horizontais. Todas as outras conexões são realizadas por pinos verticais, passantes por olhais dos componentes.

Figura 3 – Tirantes de ancoragem: (a) chegada ao pilar; (b) ilustração de um elo de tirante



Fonte: (a) elaborado pelos autores; (b) fornecido pela Santo Antônio Energia

Figura 4 – Esquemas de interfaces: (a) pilar-tirantes; (b) tirantes-módulo; (c) módulo-módulo



Fonte: elaborado pelos autores

3 Procedimento experimental

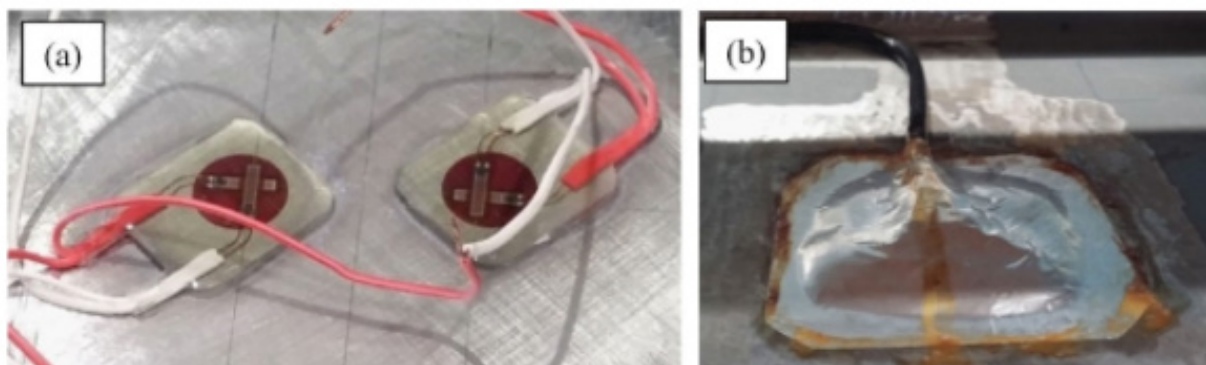
O ciclo de cheia do Rio Madeira é anual, ocorrendo alta de vazão entre os meses de janeiro e junho, período no qual não é possível realizar operações de instalação de componentes ou instrumentos e as operações de manutenção ficam limitadas. Assim, qualquer instrumentação deve ser instalada durante o período de baixa vazão e ter autonomia energética e funcional para operar ininterruptamente durante todo o período de cheia. Por isso, foram utilizados sistemas autônomos de coleta de dados integrados a sistemas de alimentação por energia solar, constituídos de painéis solares, gerenciadores de energia e baterias para manter a estação de monitoramento operante em regime contínuo. Na Figura 2(a), parte inferior, é possível observar um dos painéis solares utilizados, instalado sobre um chassi do sistema.

Para quantificar os esforços solicitantes principais sobre os elementos estruturais do sistema, que neste caso são forças de tração alinhadas com os eixos longitudinais desses elementos, foram utilizados extensômetros elétricos (*strain gages*) à prova d'água. Os sinais desses sensores foram adquiridos utilizando-se *data loggers* operando na frequência de amostragem de 100 Hz. Os dados foram gravados em cartões SD de 16 GB de capacidade. Para a alimentação, foram utilizados painéis solares de 250 W, em conjunto com um controlador de carga e um banco de baterias de 120 Ah (suficiente para fornecer energia elétrica para o sistema mesmo em uma eventual sequência de dias nublados). A cada dois meses, aproximadamente, foi necessário realizar a troca dos cartões de memória.

Foram instrumentados: a tala e cada um dos dez perfis das grades de dois módulos (posteriormente instalados nas posições 60 e 61 de um total de 89 módulos); e todos os 16 tirantes de ancoragem (oito em cada extremidade) da linha de *log boom* de interesse. Em função das condições ambientais adversas, notadamente possibilidade de dano por impacto de detritos de grande porte e abrasão pela argila em suspensão na água do Rio Madeira, cada elemento foi instrumentado com redundância, obtendo-se, nominalmente, duas medições por elemento.

Os extensômetros foram montados em ponte completa (HOFFMANN, 1989) para atenuar efeitos térmicos e aumentar a sensibilidade da medição. Foram aplicados filmes e resinas especiais para proteção das regiões instrumentadas contra a ação da água e de detritos. Nas talas e perfis das grades, foram aplicados, sequencialmente sobre os extensômetros, filme de PTFE, borracha butílica, neoprene, folha de alumínio, borracha nitrílica e resina epóxi, além de proteções metálicas para evitar impactos de troncos sobre os sensores (posicionadas estrategicamente para não alterar o estado de deformações nas regiões monitoradas). Na Figura 5, é possível observar o detalhe dos extensômetros à prova d'água colados à alma de um perfil e o resultado parcial da proteção (folha de alumínio).

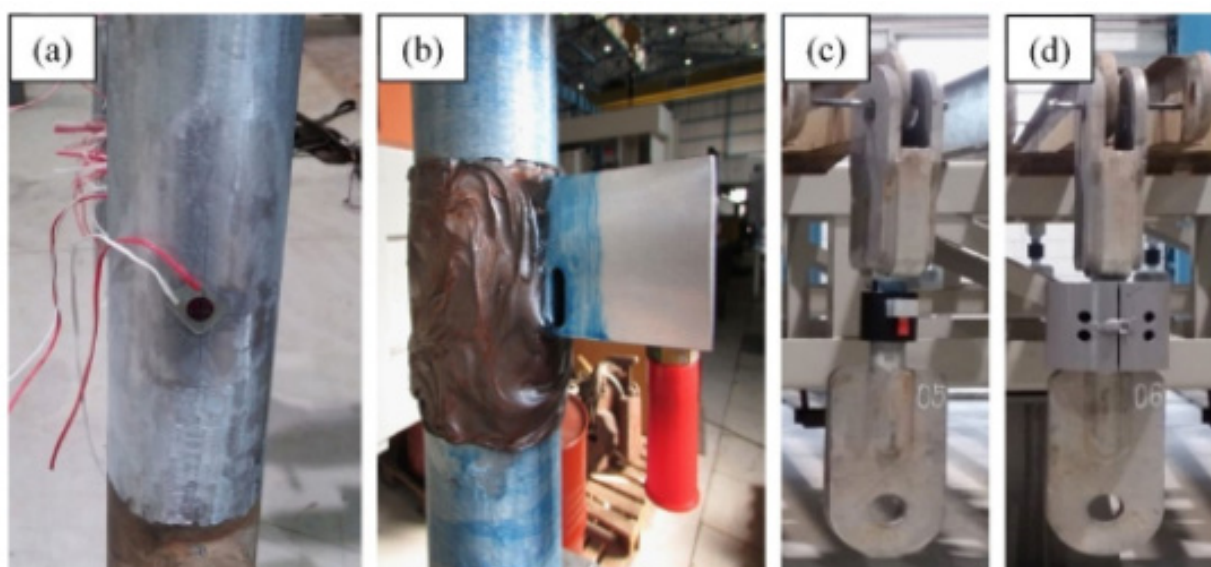
Figura 5 – Detalhe de extensômetros à prova d'água (a) e aspecto após camada protetora de alumínio (b)



Fonte: elaborado pelos autores

Nos elos dos tirantes, foi utilizado um procedimento diferente, pois foi possível a utilização de um bloco metálico com um conector à prova d'água para fazer a interface do sensor com o cabeamento. Após a colagem dos extensômetros às barras centrais dos elos, foi aplicada uma camada de resina epóxi para proteção contra água e uma camada de resina mais flexível para melhorar a resistência a impactos leves e à própria manipulação do elemento. Também foram instaladas proteções metálicas para evitar impactos de troncos sobre os sensores. Na Figura 6, podem ser observadas as várias etapas de instrumentação e proteção dos elos. Antes de serem despachados para a instalação em campo,

Figura 6 – Etapas da instrumentação dos elos dos tirantes: (a) colagem do extensômetro à prova d'água, (b) aplicação da resina epóxi, (c) aplicação da resina flexível, (d) montagem da proteção metálica



Fonte: elaborado pelos autores

os elos dos tirantes foram tracionados com forças de referência e os sinais de saída dos sensores registrados. Dessa forma, foi possível estabelecer uma relação direta entre as saídas dos sensores e as forças de tração. Ou seja, cada elo instrumentado funcionou como uma célula de carga, com faixa de medição aproximada de 0 kN a 500 kN.

Já os valores de força de tração das talas e perfis da grade, foram calculados utilizando-se os valores de deformação obtidos por meio dos sensores e as propriedades nominais geométricas das seções transversais dos elementos estruturais e da elasticidade de seus materiais, conforme descrito na **Equação 1**.

$$F = \varepsilon EA \quad (1)$$

Onde:

F = força de tração no elemento

ε = deformação medida por extensometria

E = módulo de elasticidade do material

A = área da seção transversal do elemento

Apesar do cuidado no projeto e na execução, houve falha de alguns sensores devido às condições ambientais adversas (17 % dos sensores em um período de cinco meses) e severidade na movimentação dos materiais durante a instalação (25 % dos sensores neste evento). Assim, foi necessário, preliminarmente, selecionar os sensores íntegros, cujas medições pudessem ser tomadas como válidas, com base na consistência de seus valores. As forças de tração sob cada elemento estrutural foram obtidas pela medição de um sensor considerado íntegro ou, quando seus dois sensores haviam permanecido íntegros, pela média das duas medições. Especialmente nos tirantes na sétima posição (segundo mais profundo), nas duas extremidades da linha de *log boom*, houve falha dos sensores, e suas forças de tração foram estimadas pelas médias das forças dos dois tirantes vizinhos.

Em resumo, após o processamento das medições, foram obtidos ao todo 38 valores de forças de tração dos seguintes elementos:

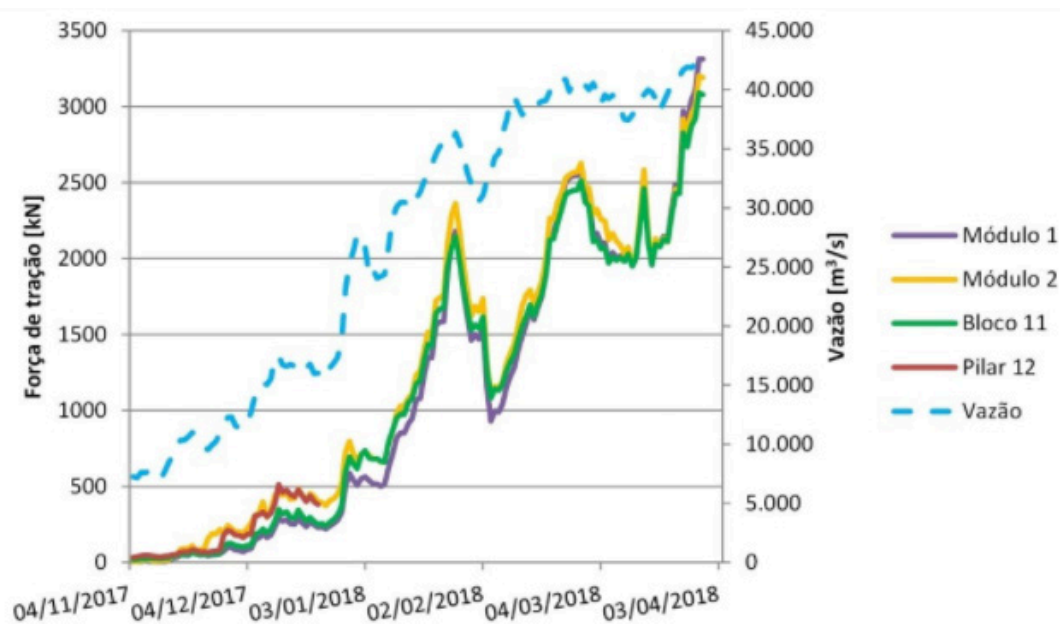
- 8 tirantes de ancoragem da linha ao Pilar 12;
- 1 tala do módulo instrumentado 1;
- 10 perfis da grade do módulo instrumentado 1;
- 1 tala do módulo instrumentado 2;
- 10 perfis da grade do módulo instrumentado 2;
- 8 perfis de ancoragem da linha ao Bloco 11.

Além da quantificação das forças de tração sobre cada elemento, os valores de força também foram somados de forma a se obter a força de tração resultante em cada uma das quatro seções instrumentadas da linha.

4 Resultados e discussão

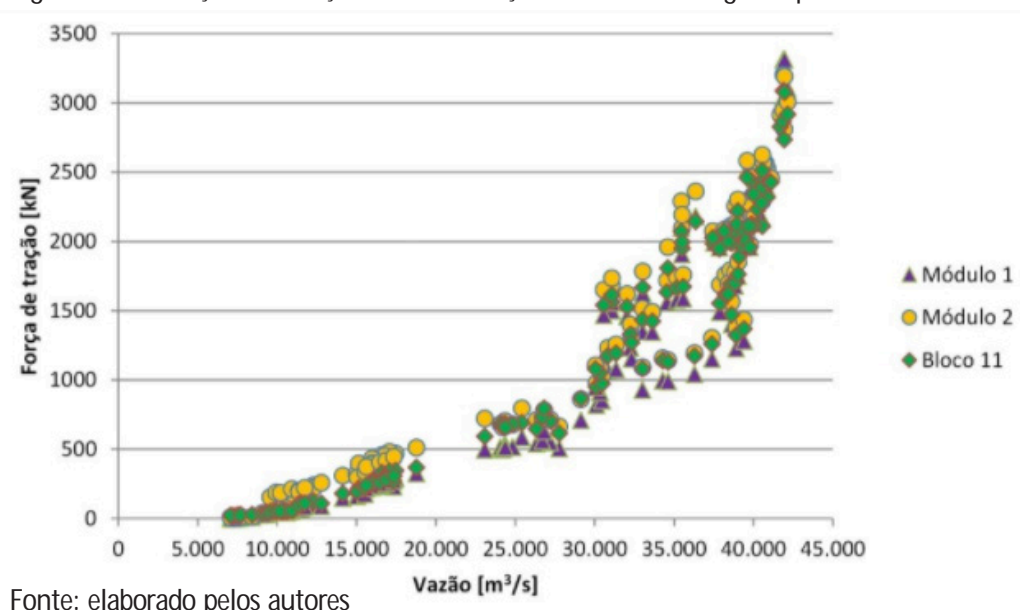
Na Figura 7, são apresentados os resultados obtidos, ao longo de cinco meses de coleta, para a soma das forças de tração sobre cada módulo instrumentado e sobre os tirantes de ancoragem da linha ao Bloco 11 e ao Pilar 12. Esses mesmos dados de força estão rerepresentados na Figura 8 em função da vazão do Rio Madeira (os valores de vazão são médias diárias informadas ao IPT pela Santo Antônio Energia).

Figura 7 – Evolução das forças totais de tração da linha ao longo do período de cheia de 2018



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 8 – Evolução das forças totais de tração da linha ao longo do período de cheia de 2018



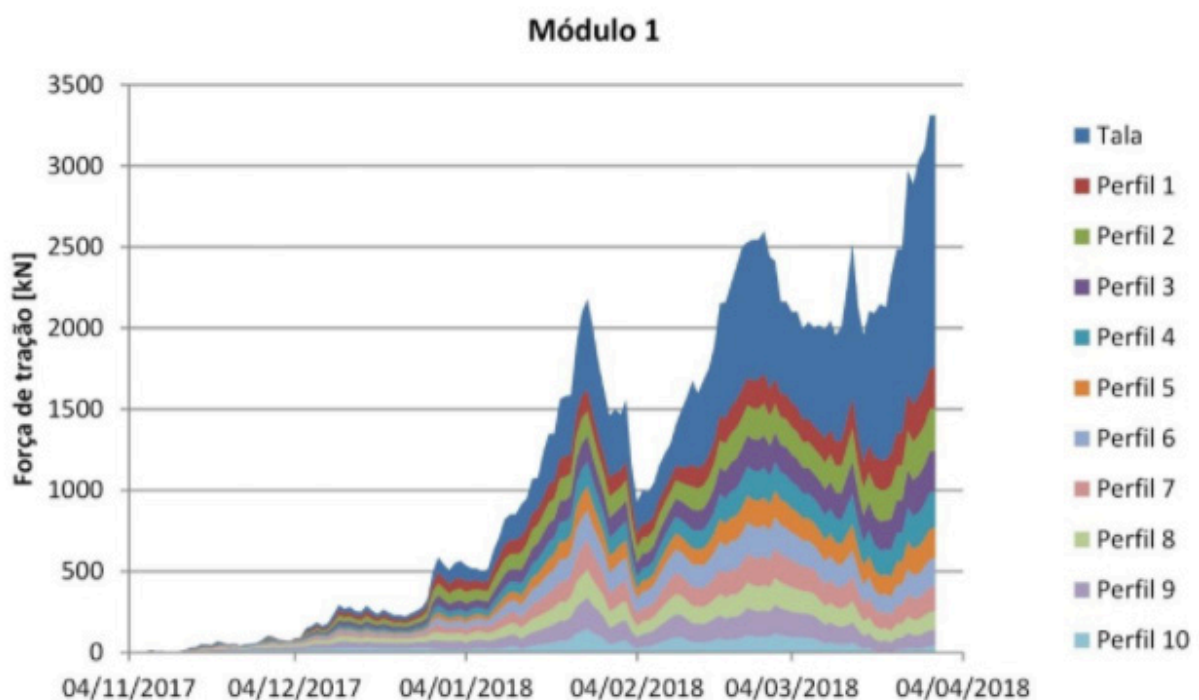
Fonte: elaborado pelos autores

Observa-se que há correlação entre as forças totais de tração na linha e a vazão do Rio Madeira. Devido à proximidade entre os módulos instrumentados e os tirantes de ancoragem ao Bloco 11, os valores de carga obtidos nessas seções da linha são semelhantes. Durante o pico de vazão da ordem de 42.000 m³/s, as forças resultantes de tração na linha chegaram a aproximadamente 3.300 kN. Particularmente nos tirantes do Pilar 12, devido a uma ocorrência de campo (desprendimento de um flutuador e danificação dos cabos do sistema), foram obtidas medições apenas durante o período de baixa vazão.

Nota-se que a força de tração na linha de *log boom* possui relação aproximadamente quadrática com a vazão do rio, o que é coerente com a relação quadrática esperada entre força de arrasto e velocidade da correnteza. Entre 30.000 m³/s e 40.000 m³/s, há maior dispersão dos resultados de força de tração que pode ser consequência da dinâmica de escoamento local (incluindo efeitos do acúmulo de troncos) ou da dinâmica do escoamento do rio.

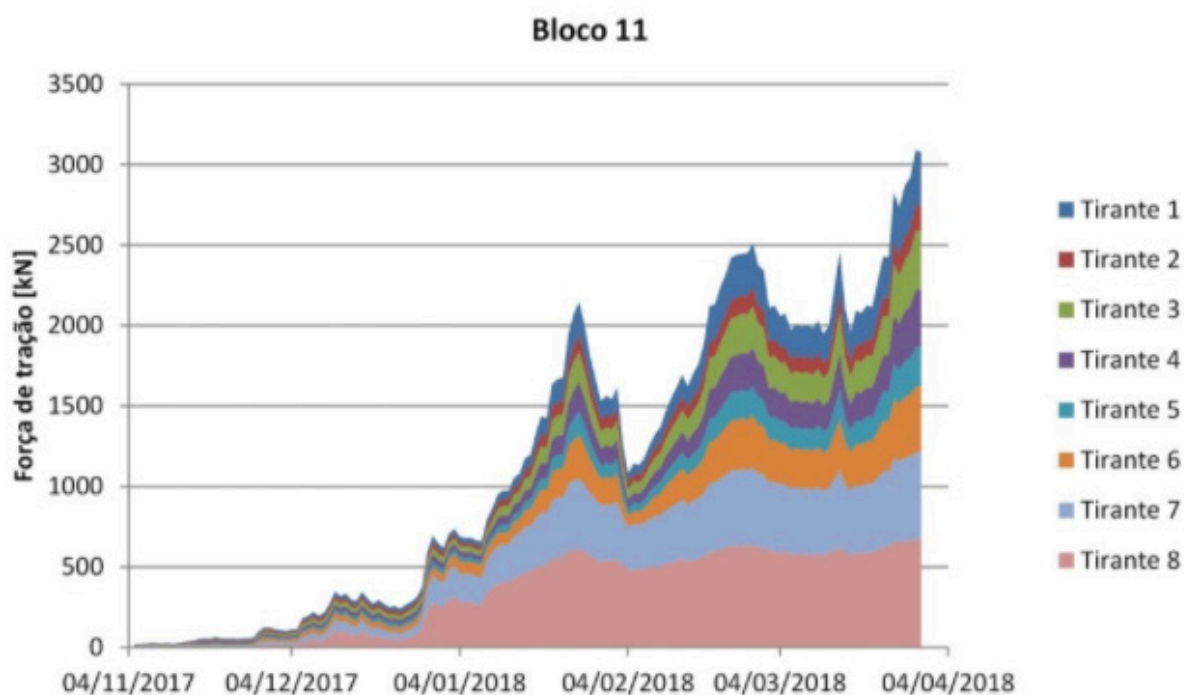
Quanto à distribuição de carga, podem ser observadas nas Figuras 9 e 10 as forças de tração obtidas em cada elemento de um dos módulos e nos tirantes de ancoragem da linha ao Bloco 11.

Figura 9 – Distribuição da carga de tração entre a tala e perfis da grade de um módulo instrumentado



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 10 – Distribuição da carga de tração entre os tirantes de ancoragem ao Bloco 11



Fonte: elaborado pelos autores

Observa-se que há certa uniformidade de carregamento sobre os perfis da grade, mas, principalmente, que a força de tração sobre a tala é maior que as forças de tração sobre os perfis, alcançando valores de 30 % a 40 % da carga total da linha para altas vazões. Essa característica indica que as talas suportam as forças de arrasto atuantes sobre os chassis do *log boom*, enquanto as grades suportam as forças de arrasto geradas sobre elas próprias. Como informado na seção de descrição do sistema de *log boom*, originalmente, os módulos não tinham a tala de reforço. Assim, o primeiro perfil suportava a força de arrasto do chassi. A concentração de carga sobre esse perfil na configuração original sem tala deve ter sido a causa da ruptura anterior de outra linha de *log boom*, pois, por projeto, havia sido assumido um carregamento uniforme com 10 % da carga total sobre cada um dos dez perfis da grade enquanto, na realidade, o primeiro perfil estava suportando aproximadamente 40 % da carga total (estimativa baseada na parcela de carga da tala na configuração avaliada em campo).

Em relação aos tirantes, houve maior carregamento no Tirante 8 (inferior). Lembra-se que a carga no Tirante 7, em particular, foi estimada pela média entre as cargas dos Tirantes 6 e 8. O Tirante 2 foi menos solicitado, enquanto os demais tirantes tiveram carregamentos mais próximos entre si. Não é possível identificar uma tendência de distribuição segundo um perfil bem definido (uniforme, linear, quadrático, etc.). Considerando-se os piores casos, foram identificadas concentrações de carga de 20 % a 25 % sobre um tirante, aproximadamente o dobro do esperado numa distribuição de carga uniforme sobre oito tirantes (na qual o carregamento em cada tirante seria igual a 12,5 % da carga total).

5 Conclusões

A instrumentação proposta foi implementada com sucesso, permitindo a caracterização das forças sobre o sistema de contenção de detritos em análise, tanto em relação à carga total da linha, quanto à distribuição de carga entre seus elementos estruturais primários. Os métodos de proteção de sensores e o sistema de geração de energia projetado para acionamento do sistema de aquisição de sinais funcionaram adequadamente. Foram identificadas concentrações de carga sobre alguns elementos, que explicam ocorrências anteriores de ruptura de componentes do sistema. Essas características serviram de base para posterior a definição de novos critérios de dimensionamento de linhas de *log boom* e adequação das linhas existentes na Hidrelétrica Santo Antônio. Desde então, não foram registradas novas ocorrências da mesma natureza.

6 Agradecimentos

Agradecemos à Santo Antônio Energia pelo suporte operacional e financeiro deste projeto (PD-06683-0116/2016 do Fundo de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL).

7 Referências

ABDELDOUR, E., ABDELNOUR, R., COMFORT, G., TRAN, P. Design and installation of two permanent booms at La Romaine-2 to resist ice, retain debris and serve as safety booms. In: WORKSHOP ON THE HYDRAULICS OF ICE COVERED RIVERS, 18th, 2015, Quebec. *Proceedings...* Quebec: CGU HS CRIPE, 2015.

ALMEIDA, R. Z. H.; CORDEIRO, J. C. S.; LOPES, L. E. Estimativas experimental e computacional de carga em sistema fluvial de contenção de detritos. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, X., 2018, Salvador. *Proceedings...* Rio de Janeiro, ABCM, 2018.

GREEN, S., GARFITT, J. R., YOUNG, G. G. Log boom drag measurement at sea. *Marine Technology*, v. 31, n. 2, p. 145-148, 1994.

HAMID, H. A., RAHMAN, M. M., MUNISAMY, K. M., ABUSTAN, I. Development of floating slender structure system for unprotected water intake in Tenom Pangli hydro power station. In: NATIONAL GRADUATE CONFERENCE, 3rd. 2015, Putrajaya. *Proceedings...* Putrajaya, Universiti Tenaga Nasional, 2015.

HOFFMANN, K., *An Introduction to measurement using strain gages*, Hottinger Baldwin Messtechnik, Darmstadt, 1989.

KATSUNO, E. T., CASTRO, F. S., DANTAS, J. L. D. Debris containment grid CFD validation with towing tank tests. In: AMERICAN TOWING TANK CONFERENCE, 30th, 2017. West Bethesda. *Proceedings...* West Bethesda: 2017.

TYLER, R. N., *River debris: causes impacts, and mitigation techniques*. Fairbanks: Alaska Center for Energy and Power, 2011.

WAHL, T. L., *Investigation of debris and safety boom alternatives for bureau of reclamation use*. Denver: U.S. Department of the Interior, 1992.

DOI 10.34033/2526-5830-v4n14-6



Normas Brasileiras e Normas ISO para Paletes: Uma Reflexão

Brazilian Standards and ISO Standards for Pallets: A Reflection

Marco Antonio Grecco D'Elia^{a*}, Rogério Parra^b, Mara Lúcia Siqueira Dantas^c (*in memoriam*), Maria Luiza Otero D'Almeida^d

^a Laboratório de Celulose, Papel e Embalagem, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo-SP, Brasil.

^b Gerência de Gestão da Qualidade, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo-SP, Brasil.

^d Centro de Tecnologia de Recursos Florestais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo-SP, Brasil.

*E-mail: magdelia@ipt.br

Palavras-chave:
palete; armazenagem;
movimentação.

Keywords:
pallet; storage; handling.

Resumo

O palete tem como funções principais suportar cargas durante armazenagem, agilizar movimentações de cargas, proporcionar melhor aproveitamento de espaço pela verticalização e dar acesso a unidades de cargas individuais na distribuição. Ele é uma estrutura complexa cujo desempenho deve ser determinado por meio de ensaios que permitam avaliar se tem a qualidade necessária para exercer suas funções. Há uma profusão de fabricantes de paletes e, também, de matérias-primas usadas para sua confecção. Atualmente existem paletes de madeira, de plástico, de alumínio, de aço, de papelão ondulado, além de estruturas combinadas. À luz da necessidade e importância de conhecer o desempenho de paletes e de haver métodos normalizados para tal, este estudo traz uma revisão das normas brasileiras existentes e faz uma comparação delas em relação a série de normas ISO 8611 – *Pallets for material handling*, que é atualmente a norma internacional de larga aceitação entre países importadores e exportadores de materiais. Como conclusão o trabalho sugere uma revisão na forma e conteúdo das normas brasileiras e indica a série da ISO citada como base para essa revisão.

Abstract

The main functions of a pallet are to bear loads during storage, to speed up cargo handling, to optimize the space by using of stacking structures and to provide access to individual cargo units in the distribution. As a complex structure, tests must be employed to determine whether it has the necessary quality to perform its functions. There is a profusion of pallet manufacturers and a lot of raw materials which can be used to make them. Currently, there are pallets made up of wood, plastic, aluminum, steel or corrugated board as well as pallets assembled from combined structures. Considering the need and the importance of knowing the performance of pallets and the existing standardized methods, this study brings a review of the Brazilian standards and compares them to the standards series ISO 8611 - Pallets for material handling which is currently the most worldwide accepted standard for international trading. As a conclusion, this work suggests a revision in the form and contents of the Brazilian standards, assuming the cited ISO series as the basis.

1 Introdução

Paletes são estruturas complexas responsáveis por armazenar e transportar com segurança valores elevados em produtos da maioria das indústrias e cuja importância nem sempre é considerada, pois o foco principal está normalmente no material que se carrega sobre ele. Eles exercem funções essenciais como:

- suportar cargas durante a armazenagem;
- agilizar a movimentação de carga, por meio do uso de garfo girante (paleteira) e empilhadeira;
- proporcionar melhor aproveitamento de espaço pela verticalização; e
- proporcionar acesso a unidades de carga individuais na distribuição.

É importante conhecer o desempenho dos paletes, pois somente um palete de boa qualidade poderá exercer adequadamente as funções mencionadas. Paletes de baixa qualidade podem causar problemas de magnitude imprevisível, não só financeiros com a perda de mercadorias e atrasos nas entregas, mas também devido ao risco de acidentes e ferimentos, causando danos à reputação da empresa.

O comportamento de um palete pode ser determinado por uma série de ensaios em laboratórios. Esses ensaios podem ser encontrados em normas técnicas. Existem 13 normas brasileiras sobre paletes, elaboradas pelas comissões de estudos da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR). No âmbito internacional, merecem destaque as normas da série ISO 8611 (International Organization for Standardization), por serem normas de consenso internacional, com grande abrangência de utilização e aceitação, principalmente pelos países da Comunidade Europeia (CE).

Os paletes são submetidos a forças que variam de modo significativo em função do tipo de carga e das condições de manuseio e armazenamento. Usuários de paletes têm diferentes formas de utilização

e aceitam diferentes níveis de risco, o que remete a expectativas diferentes de desempenho. Este fato torna fundamental o uso de procedimentos normalizados para simular as condições de carregamento e suporte a que os paletes são submetidos nas suas utilizações.

2 As Normas Brasileiras

As primeiras normas brasileiras de paletes estavam muito voltadas para os paletes de madeira, uma realidade do mercado até a década de 1970. Nos anos 1980, observou-se o crescimento do uso de paletes plásticos, principalmente por questões sanitárias. Pressões ecológicas e logísticas, para paletes de material reciclado ou paletes mais leves, levaram a utilização de paletes de papelão e de material plástico compósito. As referências normativas brasileiras referentes a paletes foram então sistematicamente evoluindo e hoje se aplicam a paletes feitos de qualquer material, inclusive paletes metálicos e de materiais combinados, mas ainda há normas que mantêm a aplicabilidade a materiais específicos. O **Quadro 1** apresenta as normas em vigor atualmente, assim como algumas informações relativas às mesmas.

Quadro 1 – Normas brasileiras (ABNT NBR) de paletes¹

Número / Ano	Nome	Elaborado por	Referências	Escopo
NBR 8252:2011	Paletes – Dimensões básicas	ABNT/CB-23 (CE-23:007.01)	Não há	Especifica as dimensões básicas de paletes, entendidas como as dimensões nominais do lado da face superior.
NBR 8254:2008	Paletes – Terminologia	ABNT/CB-23 (CE-23:001.01)	- ISO 445, <i>Pallets for material handling - Vocabulary</i> - NFH 50-000:1967, <i>Pallets - Plateformes terminologie</i>	Define os termos a serem empregados em relação aos paletes.
NBR 8255:2011	Paletes de madeira – Resistência da fixação ao arrancamento	ABNT/CB-23 (CE-23:007.01)	- ABNT NBR 8254 – Paletes – Terminologia - ABNT NBR 7190 – Projetos de estruturas de madeira	Especifica um método de ensaio de resistência ao arrancamento de fixadores para paletes de madeira.
NBR 8334: 2014	Paletes – Classificação	ABNT/CB-23 (CE-23:007.01)	- ABNT NBR 8252:2011 – Paletes – Dimensões básicas	Classifica os diversos tipos de paletes e estabelece os códigos de identificação para cada tipo.
NBR 8335: 2011	Paletes – Determinação da resistência à flexão da face superior e da face inferior	ABNT/CB-23 (CE-23:007.01)	- ABNT NBR 8254 – Paletes – Terminologia	Especifica um método de ensaio para a determinação da resistência à flexão da face superior e da face inferior dos paletes.

Quadro 1 – Normas brasileiras (ABNT NBR) de paletes¹ - continuação

Número / Ano	Nome	Elaborado por	Referências	Escopo
NBR 8337: 2011	Paletes - Determinação da resistência à flexão do palete apoiado na face inferior e na face superior	ABNT/CB-23 (CE-23:007.01)	- ABNT NBR 8254 – Paletes – Terminologia	Especifica um método de ensaio para a determinação da resistência à flexão de paletes apoiados na face inferior e um método de ensaio para a determinação da resistência à flexão de paletes apoiados na face superior.
NBR 8339: 2011	Paletes - Deformação em diagonal	ABNT/CB-23 (CE-23:007.01)	- ABNT NBR 8254 – Paletes – Terminologia	Especifica um método de ensaio para a determinação da deformação em diagonal de paletes.
NBR 8341:2011	Paletes - Determinação da resistência à queda livre sobre quina	ABNT/CB-23 (CE-23:007.01)	- ABNT NBR 8254 – Paletes – Terminologia	Especifica um método de ensaio para a determinação da resistência à queda livre sobre quina de paletes.
NBR 9192: 2010	Paletes de madeira - Peças de madeira e fixadores	ABNT/CB-23 (CE-23:007.01)	- ABNT NBR 8254 – Paletes – Terminologia - ABNT NBR 8255 - Paletes de madeira – Resistência da fixação ao arranchamento	Estabelece os requisitos das peças de madeira e dos fixadores utilizados na fabricação de paletes de madeira.
NBR 9193: 2011	Paletes de madeira serrada - Requisitos para aceitação	ABNT/CB-23 (CE-23:007.01)	- ABNT NBR 8252 – Paletes – Dimensões básicas - ABNT NBR 8254 – Paletes – Terminologia - ABNT NBR 8255 - Paletes de madeira – Resistência da fixação ao arranchamento - ABNT NBR 8337 – Paletes – Determinação da resistência à flexão do palete apoiado na face inferior e na face superior - ABNT NBR 8339 – Paletes – Deformação em diagonal - ABNT NBR 8341 – Paletes – Determinação da resistência à queda livre sobre quina - ABNT NBR 9192 – Paletes de madeira – Peças de madeira e fixadores	Estabelece os requisitos para aceitação de paletes de madeira serrada.
NBR 16242:2020	Paletes plásticos - Requisitos e métodos de ensaio	ABNT/ONS-51 (CE-51:002.06)	Não há	Especifica os requisitos mínimos e métodos de ensaio para a fabricação de paletes plásticos.

Quadro 1 – Normas brasileiras (ABNT NBR) de paletes¹ - continuação

Número / Ano	Nome	Elaborado por	Referências	Escopo
NBR 9462: 2012	Embalagem e acondicionamento – Determinação do desempenho em choque horizontal	ABNT/CB-23 (CE-23:001.02)	- ABNT NBR 9198, Embalagem e acondicionamento - Terminologia - ABNT NBR 9460, Embalagem - Desempenho - Especificação - ABNT NBR 9477, Embalagem e acondicionamento - Condicionamento - ABNT NBR 9478, Embalagem e acondicionamento - Identificação das faces	Especifica um método para a determinação do desempenho de embalagens de transporte e acondicionamentos (por exemplo, unidades de carga), com o conteúdo a que se destinam ou simulativo, que são submetidos a choques horizontais no transporte, especialmente no transporte ferroviário.
NBR 9475 :2012	Embalagem e acondicionamento – Determinação da resistência à compressão por carga constante	ABNT/CB-23 (CE-23:001.02)	- ABNT NBR 9198, Embalagem e acondicionamento - Terminologia - ABNT NBR 9460, Embalagem - Desempenho - Especificação - ABNT NBR ISO 2233, Embalagem e acondicionamento - Embalagem para transporte completas, com conteúdo e unidade de carga – Condicionamento para ensaios - ABNT NBR 9478, Embalagem e acondicionamento - Identificação das faces	Especifica um método para avaliação da resistência da embalagem à compressão por carga constante em condições de empilhamento estático, em termos de sua resistência e/ ou da proteção que oferece ao conteúdo. Esse método é aplicável também para simular condições especiais de empilhamento tais como cargas excêntricas, cargas concentradas por palete superposto à embalagem ou carga unitizada.

Fonte: ABNT/CB-23 – Comitê Brasileiro de Embalagem e Acondicionamento

CE-23:001.01 - Comissão de Estudos de Terminologia de Embalagem

CE-23:001.02 - Comissão de Estudos de Desempenho de Embalagem

CE-23:007.01 – Comissão de Estudos de Paletes

ABNT/ONS-51 – Organismo de Normalização Setorial de Embalagem e Acondicionamento Plásticos

CE-51:002.06 – Comissão de Estudos de Paletes Plásticos

3 As Normas ISO

A ISO oferece uma norma de terminologia geral para paletes, a ISO 445 – *Pallets for materials handling – Vocabulary*, e quatro normas técnicas específicas para paletes, englobados na série ISO 8611 – *Pallets for materials handling – Flat pallets* (Quadro 2). As normas desta série se aplicam para avaliar paletes planos novos e determinar a sua carga nominal, a carga máxima de trabalho e a durabilidade (comparativamente) por meio de ensaios. Essa série contempla paletes produzidos com qualquer material (madeira, plástico, papelão, alumínio, compósitos).

Quadro 2 – Normas da série ISO 8611

Parte	Nome	Escopo
1	<i>ISO 8611-1: 2011 – Pallets for materials handling – Flat pallets – Part 1: Test methods</i>	Descreve os métodos dos ensaios.
2	<i>ISO 8611-2: 2011 – Pallets for materials handling – Flat pallets – Part 2: Performance requirements and selection of tests.</i>	Descreve os requisitos de desempenho e a seleção dos ensaios a serem realizados.
3	<i>ISO 8611-3: 2011 – Pallets for materials handling – Flat pallets – Part 3: Maximum working loads</i>	Descreve os ensaios para a determinação da carga máxima de trabalho para cargas úteis conhecidas.
4	<i>ISO 8611-4: 2011 – Pallets for materials handling – Flat pallets – Part 4: Procedure for predicting creep response in stiffness test for plastic pallets using regression analyses</i>	Destinada a prever nos paletes de plástico a resposta de fluência no ensaio de rigidez, utilizando análise de regressão estatística

Fonte: ISO 8611 (2011)

Os procedimentos de ensaios descritos na ISO 8611 são simulações de diferentes condições de uso do palete. Esses ensaios permitem ao construtor e ao usuário do palete verificar se o desempenho é satisfatório para as condições de uso previstas e, também é definido o desempenho aceitável, reduzir o custo do palete.

São definidas duas cargas de especificação:

- a carga nominal é o maior valor de carga segura para utilização do palete, sem considerar o tipo de carga ou de movimentação. A carga nominal é importante na comparação do desempenho de diferentes modelos de paletes. A carga nominal é utilizada também quando o tipo de carga não é conhecido;
- a carga máxima de trabalho é a maior carga útil que o palete pode suportar nas condições específicas de carregamento, movimentação e armazenamento previstas.

São definidos três tipos de uso pretendido para o palete, com condições específicas de apoio:

- manuseio do palete carregado com armazenamento em porta-paleta e empilhamento;
- manuseio do palete carregado sem armazenamento em porta-paleta;
- manuseio do palete carregado sem armazenamento em porta-paleta ou empilhamento.

A avaliação da durabilidade dos paletes estão especificadas na ISO 8611 – Part 1: *Test methods*. No anexo A da ISO 8611 – Part 3: *Maximum working loads*, é fornecido um guia para os efeitos no desempenho do palete de diferentes tipos de cargas e métodos de estabilização, para orientar quanto ao provável resultado de ensaios com a carga útil conhecida.

4 Comparação entre as Normas Brasileira e as Normas ISO para Paletes

Uma correspondência entre a norma *ISO 8611-1: 2011 – Pallets for materials handling – Flat pallets – Part 1: Test methods*, que traz a descrição dos procedimentos de ensaio, com as normas brasileiras em vigor, é apresentada no **Quadro 3**. Esta correspondência foi feita considerando o escopo do ensaio, uma vez que a denominação do ensaio nem sempre é uma tradução literal nas duas normas.

Ainda, existem diferenças conceituais e operacionais entre os procedimentos de ensaios *ISO 8611-1: 2011* e as normas brasileiras, para um mesmo escopo. Para alguns, os ensaios são similares, para outros, o fundamento é diferente.

Algumas normas brasileiras consideram a unidade de carga completa, ou seja, o conjunto "paleta + carga" nas quais o desempenho do paleta é avaliado em função do conjunto.

Quadro 3 – Correspondência das normas técnicas

Escopo do ensaio	Normas ABNT NBR	Norma <i>ISO 8611-1:2011</i>
Flexão do palete apoiado em estrutura porta-palete	ABNT NBR 8337:2011 item 6.1 – Flexão do palete apoiado na face inferior	Item 8.1 – <i>Bending tests</i>
	ABNT NBR 8337:2011 item 6.1 – Flexão do palete apoiado na face inferior	
Levantamento do palete por empilhadeira	ABNT NBR 8337:2011 item 6.2 – Flexão do palete apoiado na face superior	Item 8.2 – <i>Forklifting tests</i>
	ABNT NBR 16242:2016 item 6.2 – Carga dinâmica (flexão / flecha residual)	Não há
Compressão nos blocos ou longarinas do palete	ABNT NBR 16242:2016 item 6.4 – Carga estática rígida	Item 8.3 – <i>Compression tests for blocks and stringers</i>
Empilhamento de paletes por sobreposição direta	ABNT NBR 8335:2011 item 6.2 – Flexão da parte superior	Item 8.4 – <i>Stacking tests</i>
	ABNT NBR 9475 :2012 – Embalagem e acondicionamento – Determinação da resistência à compressão por carga constante*	
Flexão da face inferior do palete	ABNT NBR 8335:2011 item 6.3 – Flexão da face inferior	Item 8.5 – <i>Bottom deck bending tests</i>
Flexão do palete apoiado pelas abas	ABNT NBR 8337:2011 item 6.2 – flexão do palete apoiado na face superior	Item 8.6 – <i>Wing pallet bending tests</i>
Flexão do palete com carga distribuída	Não há	Item 8.7 – <i>Airbag bending tests</i>
Cisalhamento estático das plataformas superior e inferior do palete	ABNT NBR 8339:2011 – Deformação em diagonal	Item 8.8 – <i>Static shear tests</i>
Impacto no canto por queda	ABNT NBR 8341:2011 – Determinação da resistência à queda livre sobre quina	Item 8.9 – <i>Corner drop test</i>
Cisalhamento ao impacto dinâmico do palete	Não há	Item 8.10 – <i>Shear impact test</i>
Impacto do garfo de empilhadeira na borda da plataforma superior do palete	ABNT NBR 9193:2011 item 5.4 – Impacto contra garfo de empilhadeira	Item 8.11 – <i>Top deck edge impact test</i>
Impacto do garfo de empilhadeira nos blocos do palete	ABNT NBR 9462: 2012 Embalagem e acondicionamento – Determinação do desempenho em choque horizontal*	Item 8.12 – <i>Block impact test</i>
Coefficiente de atrito estático entre o palete e o garfo de empilhadeira	Não há	Item 8.13 – <i>Static coefficient of friction test</i>
Ângulo de escorregamento da carga sobre o palete	Não há	Item 8.14 – <i>Slip angle test</i>

* o desempenho do palete é avaliado em função do conjunto “palete + carga”.

Fonte: elaborado pelos autores

As normas da série *ISO 8611:2011* possuem uma filosofia diferente das normas ABNT NBR.

Para os ensaios de flexão em estrutura porta-paleta, levantamento por empilhadeira, empilhamento, flexão da face inferior, flexão pelas abas, e flexão com carga distribuída e compressão de blocos e longarina, a *ISO* especifica dois procedimentos. O primeiro procedimento determina a "resistência" do paleta no qual é aplicada um esforço crescente até a ruptura ou até atingir uma deflexão limite. O segundo procedimento é chamado de "rigidez", com objetivo de determinar a carga que o paleta suporta com segurança, decorrente do valor obtido no procedimento anterior ou até atingir uma deflexão limite ou uma deformação residual após relaxamento, em função do vão livre. A capacidade nominal de carga do paleta é o menor valor atingido dentre os ensaios de rigidez realizados.

Para os ensaios de cisalhamento estático, queda de canto, cisalhamento ao impacto, impacto na borda da plataforma superior, impacto no bloco, coeficiente de atrito estático e ângulo de deslizamento, a *ISO 8611* não define limites de desempenho, sendo os resultados de caráter comparativo.

Para os ensaios de empilhamento (flexão da plataforma superior), flexão da plataforma inferior, flexão em estrutura porta-paleta, levantamento por empilhadeira, flexão pelas abas, as normas NBR 8335:2011 e NBR 8337:2011 especificam as montagens sem informações adicionais como ocorre nas normas *ISO 8611*. A norma NBR 8337:2011 determina que as cargas sejam aplicadas até atingir uma deflexão limite em função do vão livre entre os apoios e a norma NBR 8335:2011 não define limites para a carga e deflexão.

No ensaio de cisalhamento estático a norma NBR 8339:2011 especifica a aplicação de forças nas diagonais opostas do paleta, medindo-se as deformações sob carga e após o relaxamento, sem a definição de limites.

No ensaio de impacto no canto por queda a norma NBR 8341:2011 especifica que o paleta cai de uma altura de 100 mm, 6 vezes, sem definir limites de desempenho.

A norma NBR 9193:2011 é exclusiva para paletes de madeira serrada. Estabelece os requisitos para aceitação dos paletes, considerando os resultados dos ensaios das normas ABNT NBR 8335:2011, NBR 8337:2011, NBR 8339:2011 e NBR 8341:2011, e os classifica por nível de desempenho (leve, médio, pesado) conforme o valor das cargas atingidas.

A norma ABNT NBR 16242:2020 é exclusiva para paletes de plástico. Os paletes são classificados (classe 1, 2 ou 3) conforme as cargas que suportam. Nos ensaios de levantamento por empilhadeira (carga dinâmica) e de flexão em estrutura porta-paleta, a carga é aplicada até o paleta atingir uma deflexão limite e uma deflexão residual, após um período de relaxação da carga, ambas em função da dimensão lateral do paleta. O resultado a ser considerado para fins de classificação é a última carga aplicada anteriormente ao alcance da deflexão limite ou à fratura. No ensaio de empilhamento (carga estática), a carga é aplicada até a fratura do paleta ou até uma deflexão limite, em função da dimensão lateral do paleta, e o valor a ser considerado para fins de classificação é de 80 % da carga máxima atingida no ensaio.

5 Comentários

As normas ABNT NBR para paletes embora publicadas na mesma época que a série de normas ISO 8611:2011 – *Pallets for materials handling – Flat pallets* se basearam em versões anteriores dessa série de normas.

No passado, décadas de 70 a 90, o IPT teve uma atuação bastante ativa na elaboração de normas para paletes.

Nessa época, surgiu o paletes PBR (Paletes Padrão Brasileiro) procedente de estudos realizados pelo IPT para o setor supermercadista, por meio da ABRAS (Associação Brasileira de Supermercados). O paletes PBR ainda existe, tendo evoluído de sua versão original (ABRAS,2020). O paletes PBR é um produto intercambiável, que circula dentro de um sistema aberto de parceiros comerciais, o que possibilita o seu reuso. Ele segue especificações técnicas rígidas e leva marcações que permitem reconhecer que é um paletes PBR e saber a data de sua fabricação e quem o fabricou. Embora tenha sido desenvolvido para o setor supermercadista, tem características que permite seu uso para outros setores ou situações. Ele atende vários sistemas de estocagem e pode ser movimentado por diferentes tipos de equipamentos, como paleteiras, empilhadeiras e transelevadores.

A dificuldade de união em torno de objetivos técnicos que deveriam ser comuns a quem fabrica paletes, independente do material, vem prejudicando a evolução de normas ABNT referentes a esse produto e dando espaço para normas estrangeiras, como as da série *ISO* aqui tratadas, que supram a demanda por dados que representem mais fielmente a realidade a ser enfrentada. .

A série *ISO 8611:2011* foi desenvolvida com base em estudos técnicos mais recentes e, portanto, passou por aperfeiçoamentos o que a tornou mais completa, com definições claras de requisitos, aplicações objetivas e critérios de aceitação. Além disso, a série *ISO 8611:2011* foi discutida e aprovada por consenso em âmbito internacional.

Não obstante o interstício temporal entre as atualizações das normas ABNT e ISO, o IPT continuou a desenvolver e propor métodos de ensaio dos paletes e a preencher as lacunas normativas para o controle deste equipamento. Assim, foram criados métodos para especificação ou interpretação de resultados dos ensaios nos quais as normas brasileiras eram omissas.

Para o ensaio de queda contra um vértice, previsto pela ABNT NBR 8341, foi estabelecida uma deformação máxima admissível das diagonais. Foi criado um método para avaliação do ângulo de estabilidade da carga sobre o paletes. Foi desenvolvido, também um estudo de método de ensaio de compressão de carga não rígida, substitutivo ao método do colchão de ar da norma ISO.

Estes procedimentos e especificações são sugeridas aos clientes do IPT para melhor avaliação de seus produtos. Poderão ser disponibilizados para comissões de estudo da ABNT quando houver uma nova rodada para revisão das normas brasileiras.

6 Conclusão

Pelo exposto e considerando a necessidade de normalização e padronização das características e do desempenho dos paletes, demandada pelos setores de logística, movimentação e armazenamentos de mercadorias, seria importante que as normas brasileiras passassem por processo de revisão e atualização. As normas da série *ISO 8611:2011 – Pallets for materials handling – Flat pallets* seriam uma boa base para essa revisão e levaria o produto brasileiro ao mesmo padrão dos similares estrangeiros, até porque o palete é um insumo largamente utilizado na exportação de diversos produtos.

7 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8254:2008. Paletes – Terminologia. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

_____. NBR 9192: 2010. Paletes de madeira – Peças de madeira e fixadores. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010.

_____. NBR 8252:2011. Paletes Dimensões básicas. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

_____. NBR 8255:2011. Paletes de madeira – Resistência da fixação ao arrancamento. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

_____. NBR 8335: 2011. Paletes – Determinação da resistência à flexão da face superior e da face inferior. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

_____. NBR 8337: 2011. Paletes – Determinação da resistência à flexão do palete apoiado na face inferior e na face superior. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

_____. NBR 8339: 2011. Paletes – Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

_____. NBR 8341:2011. Paletes – Determinação da resistência à queda livre sobre quina. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

_____. NBR 9193: 2011. Paletes de madeira serrada – Requisitos para aceitação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011.

_____. NBR 9462: 2012. Embalagem e acondicionamento – Determinação do desempenho em choque horizontal. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.

_____. NBR 9475 :2012. Embalagem e acondicionamento – Determinação da resistência à compressão por carga constante. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.

_____. NBR 8334: 2014. Paletes – Classificação. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.

_____. NBR 16242:2020. Paletes plásticos – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS. Manual de utilização Palete PBR-1 Versão 2019. São Paulo: ABRAS, 2020. Disponível em: <https://www.abras.com.br/palete-pbr/palete-pbr-1-versao-2019/>. Acesso em 16/06/20.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 445-2013. Pallets for materials handling – Vocabulary. Geneva, Switzerland, International Organization for Standardization, 2013.

_____. ISO 8611-1: 2011 – Pallets for materials handling – Flat pallets – Part 1: Test methods. Geneva, Switzerland, International Organization for Standardization, 2011.

_____. ISO 8611-2: 2011 – Pallets for materials handling – Flat pallets – Part 2: Performance requirements and selection of tests. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2011.

_____. ISO 8611-3: 2011 – Pallets for materials handling – Flat pallets – Part 3: Maximum working loads. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2011.

_____. ISO 8611-4: 2011 – Pallets for materials handling – Flat pallets – Part 4: Procedure for predicting creep response in stiffness test for plastic pallets using regression analyses. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2011.

DOI 10.34033/2526-5830-v4n14-7



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



| Secretaria de Desenvolvimento Econômico