

Engenharias em perspectiva

ciência, tecnologia e inovação

4

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

Engenharias em perspectiva

ciência, tecnologia e inovação

4

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
(Organizador)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Ellen Andressa Kubisty

Luiza Alves Batista

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2024 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2024 Os autores

Copyright da edição © 2024 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Colégio Militar Dr. José Aluisio da Silva Luz / Colégio Santa Cruz de Araguaia/TO

Profª Drª Cristina Aledi Felseburgh – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Diogo Peixoto Cordova – Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Profª Drª Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Hauster Maximiler Campos de Paula – Universidade Federal de Viçosa

Profª Drª Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Profª Drª Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento – Universidade Estadual de Santa Cruz

Profª Drª Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Leonardo França da Silva – Universidade Federal de Viçosa

Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira – Universidade Federal do Espírito Santo

Profª Drª Maria Iaponeide Fernandes Macêdo – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Profª Drª Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Profª Drª Mariana Natale Fiorelli Fabiche – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof. Dr. Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Nilzo Ivo Ladwig – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Profª Drª Priscila Natasha Kinas – Universidade do Estado de Santa Catarina

Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Rafael Pacheco dos Santos – Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Profª Drª Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Diagramação: Thamires Camili Gayde
Correção: Jeniffer dos Santos
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
E57	Engenharias em perspectiva: ciência, tecnologia e inovação 4 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-2874-9 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.749240309 1. Engenharia. 2. Ciência. 3. Inovação tecnológica. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título. CDD 620
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O e-book: “Engenharias em perspectiva: ciência, tecnologia e inovação 4” é constituído por oito capítulos de livros que foram divididos em quatro eixos temáticos, a saber: *i)* ensino-aprendizagem no ensino superior; *ii)* desenvolvimento e aprimoramento de técnicas na construção civil; *iii)* automatização em diferentes segmentos da sociedade e; *iv)* modelagem matemática e computacional.

Os capítulos 1 e 2 investigaram o processo de ensino-aprendizagem no âmbito do ensino superior, sendo que o primeiro avaliou cursos de engenharia com base em quatro modelos pedagógicos, sendo o modelo tradicional o menos apropriado que deve ser substituído pela abordagem de uma aprendizagem mais significativa; já o segundo analisou a influência do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC) na formação de graduandos tanto para o mercado de trabalho, quanto para a continuidade em nível de pós-graduação *stricto-sensu*, sendo observado que os discentes que participam do PIBIC possuem uma formação mais sólida em relação a diversidade de habilidades (comunicação, escrita, publicação dentre outros) adquiridas ao longo da participação do programa.

O terceiro capítulo avaliou a utilização de concreto permeável na confecção de elementos drenantes (tampas e boca de lobo) de águas pluviais, na qual foi constatado a necessidade de aumento da área dos elementos investigados; o capítulo 4 realizou uma revisão da literatura em relação a tipologia do piso misto de pequena altura, sendo obtidas inúmeras informações que auxiliaram na ampliação e disseminação do conhecimento para a comunidade científica.

Os capítulos 5 e 6 avaliaram a utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e robôs, respectivamente, na construção civil e no segmento educacional. O primeiro foi aplicado como ferramenta para auxiliar na fiscalização e vistoria de obras revestidas com pastilhas cerâmicas, sendo obtido diversas tipologias em relação as manifestações patológicas em edificações, a um custo acessível e de forma mais rápida em relação as formas convencionais de obtenção de imagens; já o segundo estudo investigou o uso de Redes Neurais Artificiais (RNAs) para manipular robôs colaborativos junto ao trabalho humano, os pesquisadores obtiveram resultados promissores para a implementação de RNA.

Por fim, o capítulo 7 utiliza o Simulador de Monte Carlo (SMC) para avaliar a incerteza de medição na calibração de um micrômetro, sendo constatado maior contribuição para a repetibilidade em função da medição nos dois pontos de calibração; o oitavo capítulo avaliou a utilização de modelagem matemática euleriana-euleriana aplicado a separadores multifásicos utilizados em poços produtores de petróleo frente a inúmeras variáveis, sendo obtidos resultados satisfatórios em relação ao comportamento fluidodinâmico do gás, óleo e água no processo de separação.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países, a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua


CAPÍTULO 1 1**UNA VISIÓN SOBRE LA EVALUACIÓN EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-
APRENDIZAJE DE LA INGENIERÍA**

Claudia Patricia Serna-Giraldo
Nelson Antonio Vanegas-Molina

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7492403091>

CAPÍTULO 2 17**CONTRIBUIÇÃO DA INICIAÇÃO CIENTÍFICA PARA CRESCIMENTO
PROFISSIONAL DO ESTUDANTE DE GRADUAÇÃO**

Roberto Yuri Costa Dias
Rafael Vilhena Soares
Pedro Victor de Mendonça Maia
Alian Gomes da Silva de Mendonça
Thomaz Osmane dos Santos Rocha
Roberto Tetsuo Fujiyama

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7492403092>

CAPÍTULO 324**APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO PERMEÁVEL A FIM DE DIMINUIR AS
OBSTRUÇÕES NA COBERTURA DE ELEMENTOS DRENANTE**

Alvimar Malta
Rayane Amorim
Rafael Bicalho
Thiago Serino
Pedro Henrique Rodrigues Silva
Flávia Trindade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7492403093>


CAPÍTULO 440**PISO MISTO DE PEQUENA ALTURA: UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRE
AS TIPOLOGIAS**

Tainá Mascarenhas Borghi
Ana Lúcia Homce de Cresce El Debs

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7492403094>

CAPÍTULO 562**USO DO VANT PARA IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS
EM FACHADAS REVESTIDAS COM ELEMENTOS CERÂMICOS**

Ana Maria de Sousa Santana de Oliveira
Andressa Reinehr
Ricardo Rocha de Oliveira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7492403095>

CAPÍTULO 686**PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA COM OBSTÁCULOS PARA MANIPULADORES ROBÓTICOS COLABORATIVOS, INSTANCIADO EM EDUCAÇÃO UNIVERSITÁRIA**

Márcio Mendonça
 Fabio Rodrigo Milanez
 Francisco de Assis Scannavino Junior
 Henrique Cavalieri Agonilha
 Angelo Feracin Neto
 Marcio Jacometti
 Vicente de Lima Gongora
 Bruno Oliveira Rosa
 Marcos Antônio de Matos Laia
 Claudiane Olímpio da Silva
 Roseli Lopes Fernandes de Almeida
 José Augusto Fabri
 Emerson Ravazzi Pires da Silva
 Marcos Banheti Rabello Vallim
 Rodrigo Rodrigues Sumar
 Mateus Henrique De Oliveira Louro
 Roberto Bondarik

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7492403096>

CAPÍTULO 798**USO DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO NA AVALIAÇÃO NO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DE MICRÔMETRO**

Wellinton de Assunção
 Moisés dos Santos Rocha
 Mônica Frank Marsaro
 Jean Robert Pereira Rodrigues
 Rogerio Cardoso Carvalho
 Samuel Victor dos Santos Araújo
 Raí Dias Almeida
 Wellington Pereira Gomes

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7492403097>

CAPÍTULO 8115**SIMULAÇÃO DE UM VASO SEPARADOR HORIZONTAL TRIFÁSICO COM DEFLETOR EM FORMATO L**

Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento
 Severino Rodrigues de Farias Neto
 Boniek Evangelista Leite
 Alysson Dantas Ferreira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.7492403098>

SOBRE O ORGANIZADOR 127**ÍNDICE REMISSIVO 128**

UNA VISIÓN SOBRE LA EVALUACIÓN EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE DE LA INGENIERÍA

Fecha de entrega: 16/08/2024

Data de aceite: 26/08/2024

Claudia Patricia Serna-Giraldo

Universidad de Antioquia. Departamento
Ingeniería de Materiales
Colombia - Antioquia

Nelson Antonio Vanegas-Molina

Universidad Nacional de Colombia.
Departamento Ingeniería Mecánica
Colombia - Antioquia

RESUMEN: La evaluación en el proceso de enseñanza-aprendizaje, es un sistema complejo, y ha pasado en el tiempo por diferentes transformaciones y formas de realizarse. Los docentes de ingeniería han implementado sistemas de evaluación conforme a sus conocimientos, fundamentación pedagógica y su formación en didácticas universitarias; otros a partir de sus experiencias o replicando la forma como ellos fueron evaluados. Se tiene como objetivo presentar una visión sobre la evaluación en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la ingeniería, a partir de la experiencia docente y fundamentación de los autores. Para ello son consideradas las fases de la evaluación, los modelos pedagógicos: 1) tradicional, 2) conductista, 3) desarrollista, y 4) social; el vínculo entre el

aprendizaje y la evaluación; todo lo anterior direccionado a la formación de ingenieros e ingenieras como profesión que se basa en las disciplinas y sus componentes: 1) técnica, 2) ciencia, y 3) tecnología. Lo cual nos lleva a que no debemos enmarcar la enseñanza de la ingeniería dentro de un modelo tradicional; y donde la evaluación entre en el proceso de enseñanza-aprendizaje, con la función principal que le corresponde: observar, describir, analizar, presentar alternativas, evaluar, solucionar, para que se produzcan transformaciones integrales, donde el aprendizaje significativo del estudiante sea el centro del proceso. Se culmina con una serie de reflexiones y propuestas para incorporar la evaluación como un ente natural dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje, donde el docente se encamine desde los procesos de heteroevaluación hacia la autoevaluación, y donde el estudiante sea consciente de su rol dentro del proceso de aprendizaje, el cual será para el beneficio de su desempeño profesional.

PALABRAS-CLAVE: Evaluación, enseñanza-aprendizaje, ingeniería, modelos pedagógicos, aprendizaje y evaluación.

A VISION ON EVALUATION IN THE TEACHING-LEARNING PROCESS OF ENGINEERING

ABSTRACT: Evaluation in the teaching-learning process is a complex system, and has gone through different transformations and ways of being carried out over time. Engineering teachers have implemented evaluation systems according to their knowledge, pedagogical foundation and their training in university didactics; others based on their experiences or replicating the way they were evaluated. The objective is to present a vision of evaluation in the engineering teaching-learning process, based on the teaching experience and foundation of the authors. For this, the phases of the evaluation and the pedagogical models are considered: 1) traditional, 2) behavioral, 3) developmental, and 4) social; the link between learning and assessment; All of the above is aimed at the training of engineers as a profession that is based on the disciplines and their components: 1) technique, 2) science, and 3) technology. Which leads us to the fact that we should not frame engineering education within a traditional model; and where evaluation enters the teaching-learning process, with the main function that corresponds to it: observe, describe, analyze, present alternatives, evaluate, solve, so that comprehensive transformations occur, where the student's significant learning is the center of the process. It culminates with a series of reflections and proposals to incorporate evaluation as a natural entity within the teaching-learning process, where the teacher moves from hetero-evaluation processes towards self-evaluation, and where the student is aware of his or her role within the learning process, which will be for the benefit of their professional performance.

KEYWORDS: Evaluation, teaching-learning, engineering, pedagogical models, learning and evaluation.

INTRODUCCIÓN

Motivados por la percepción y la experiencia docente en ingeniería, y con preocupación frente a la evaluación y lo que ella representa, se plantea aquí una serie de reflexiones, de cómo ella ha participado en el proceso de Enseñanza-Aprendizaje (EA) de acuerdo con los modelos pedagógicos, con una concepción que fracciona el proceso y hace que los aprendizajes no sean permanentes. Para esto se inicia con un recuento de las fases por las cuales ha pasado la evaluación, y una breve descripción de los modelos pedagógicos y sus características de aprendizaje. Se muestran también algunas reflexiones de lo que implica la enseñanza de la ingeniería y de cómo la evaluación debe involucrarse activamente en el proceso de EA como un elemento que lo dinamiza, cumpliendo su función de permitir la transformación para el mejoramiento. En este sentido se intenta mostrar cuales son las características de la evaluación y de sus instrumentos, a partir de las cuales puede pensarse en las metodologías que permitan que realmente se inserte en el proceso de EA, centrándose en las principales dificultades que a juicio de los autores deben ser vencidas: 1) la sensibilización por parte de los estudiantes, 2) la flexibilización de los currículos, 3) el compromiso de todos los docentes, y 4) un compromiso institucional hacia el mejoramiento continuo.

LAS FASES DE LA EVALUACIÓN

Cual ha sido el papel de la evaluación en el proceso de EA?. La respuesta a esta pregunta puede iniciarse con una mirada histórica de las fases por las cuales ha pasado la evaluación (Quiceno y Peñaloza, 2014; Quiceno 2002):

- **Ritual.** En la cual se valoraba la dimensión como individuo, lo que representaban. Esta era una evaluación fundamentada en el poder (House, 1994). Se reconocía el poder del otro y así en las escuelas el maestro consideraba la fuerza de los alumnos, y esto lo utilizaba en su evaluación.
- **Técnica.** En la cual se valoraba al otro sin la aparición de la fuerza, del poder. En este modo de evaluación los objetos, los sujetos y las instituciones son valoradas por sus propios valores. Esta se caracterizó por crear un instrumento de saber, reglas de juego, sistemas de intervención, procedimientos y ejercicios.
- **Disciplina e interdisciplinariedad,** desde un saber científico. Se permite que la evaluación evolucione, se modernice, se actualice y se vuelve científica. Considera la evaluación no como instrumentos sino como un campo de posibilidades.

Pero será que esas fases de las cuales se hace mención realmente han sufrido históricamente ese proceso de transformación, y nos encontramos entonces en la fase la evaluación como disciplina e interdisciplinariedad?. Se cree que a pesar de toda esa evolución, en nuestro sistema actual de EA nos encontramos aún mucho de la primera (ritual) y segunda fase (técnica); y aunque la tercera fase (disciplina e interdisciplinariedad) sería la más ideal, poco es lo que se aplica.

Desde nuestro rol como docentes en ingeniería, antes desde nuestro rol como estudiantes de ingeniería; hemos podido interpretar que la evaluación se práctica como una actividad punitiva más que como una actividad motivadora en el proceso de aprendizaje.

Tradicionalmente en los procesos de evaluación en que hemos participado, que hemos vivido y experimentado, se ha tomado la evaluación como una etapa que corta en un momento determinado de la enseñanza. En ese sentido, el papel que asume el estudiante es estudiar para la evaluación, o más correctamente dicho, estudiar para la calificación de si sabe o no, un determinado tema.

Durante gran parte del proceso de enseñanza el profesor adopta una posición de difusor de conocimiento, mientras el alumno adopta su posición de receptor. Así, una vez terminado un conjunto de temáticas, el estudiante se dedica a repasarlas, reproducirlas y aprenderlas temporalmente mientras se realiza la evaluación, para después olvidarla. En este sistema, la evaluación entra en la etapa final en el proceso de aprendizaje, y tiene un carácter calificativo, en un tiempo definido. En estas prácticas de enseñanza, la actitud evaluadora invierte el interés de conocer por el interés de aprobar, en tanto que se estudia para aprobar y no para aprender. Es el mismo profesor que cuando enseña un tema importante de su campo, destaca su importancia diciendo que será evaluado y lentamente va estructurando toda la situación de enseñanza por una próxima situación de evaluación (Litwin, 1998).

LOS MODELOS PEDAGÓGICOS (GONZÁLEZ, 1998; GONZÁLEZ, 2001; GONZÁLEZ, 2005)

La forma en que se evalúa, va directamente relacionada con la forma en que se enseña conformando la didáctica, y está enmarcada en los diferentes modelos pedagógicos. A continuación, se hace un recuento de las principales características de estos modelos y se relacionan con los modos de aprendizaje operantes en cada modelo pedagógico y su relación con los procesos de evaluación.

Modelo tradicional

En este modelo se busca formar hombres eruditos, capaces de repetir fielmente la información heredada de la cultura de sus antepasados. Se hace una transmisión de la cultura desde una visión racionalista, moralista y cívica. Se desarrollan el carácter, las virtudes, la voluntad, la disciplina y la normatividad.

El papel del maestro es actuar como un protagonista de la enseñanza, transmisor de conocimientos, dictador de clases, como una figura severa, exigente, punitiva, rígida y autoritaria.

El alumno actúa como individuo receptivo, repetitivo, mecánico, memorístico, copista, imitador para convertirse en un ser erudito. La relación que existe entre el profesor y el alumno es vertical.

La metodología empleada es básicamente transmisionista, a través del discurso. No existe comunicación, pues es el maestro quien habla mientras el alumno escucha o lee. Se aplican ejercicios para reforzar aquello que fue dicho por el maestro.

La enseñanza procede de lo general a lo particular, de lo teórico expuesto por el profesor, a lo práctico. La repetición es la base del aprendizaje del alumno. Es más importante el proceso de enseñanza por parte del profesor que el aprendizaje por parte del alumno.

Los medios que se utilizan son básicamente el pizarrón, la tiza, las aulas, y las grandes obras de la humanidad.

Modelo conductista

En este modelo se pretende formar, instruir, capacitar los individuos en ciertas destrezas para mejorar su desempeño en el mercado laboral, para que sean hombres diestros, técnicos útiles a los intereses del estado capitalista. Se forma desde una visión individualista, racionalista y positivista, un ser humano diestro capaz de desempeñarse en un mundo laboral.

El currículo es una organización de asignaturas diseñadas para obtener unos resultados de aprendizaje prefijados por unos objetivos que moldean la conducta de los alumnos y los prepara en habilidades y destrezas para el trabajo.

El maestro actúa como un técnico, como un operario que ejecuta lo elaborado por los tecnólogos educativos.

El alumno actúa como fuerza de trabajo. Se emplea una metodología transmisionista, en la cual el maestro utiliza técnicas de aprendizaje mediante autorregulación, mecanización y programación de la enseñanza, reduciendo las actividades del aprendiz a secuencias de operaciones análogas, a información, retroalimentación y programación intrínseca, a preguntas y respuestas con elecciones múltiples para el reconocimiento de la información.

Se equilibran en este modelo los procesos de EA, donde un grupo de estudiantes realizan actividades guiados por un profesor.

Los procesos de aprendizaje están guiados por la relación estímulo-respuesta, causa-efecto, medios-fines y son reforzados continuamente para afianzar conducta predeterminadas que se convierten en mecánicas.

Utiliza los medios de la tecnología educativa: libros, televisión, retroproyectors, audiovisuales, computadores, laboratorios.

Modelo desarrollista

Se pretende con el modelo desarrollista la evolución de las estructuras cognitivas de los estudiantes para acceder a conocimientos cada vez más elaborados, que sean capaces de descubrir el conocimiento y construir sus propios procesos de aprendizaje a través de experiencias vividas.

Consiste en formar hombres y mujeres inteligentes a través de la exploración de la cultura como producto del desarrollo científico.

Lo importante no es solo el aprendizaje de las teorías, leyes y conceptos, sino el método que con las ciencias se han construido.

El currículo está compuesto por una serie de responsabilidades para promover una serie de experiencias que desarrollan el conocimiento del alumno.

El maestro actúa como un guía que facilita al estudiante el desarrollo de sus estructuras de pensamiento, y como un investigador de los procesos mentales de estudiantes. El alumno aprende a pensar, aprende haciendo.

Las metodologías empleadas son pedagogías activas, en las cuales el alumno participa realizando actividades desde sus propios intereses, a través de experiencias directas con los objetos a conocer y en situaciones concretas. El estudiante comprueba sus ideas por medio de sus aplicaciones, descubriendo por sí mismo su validez.

En el modelo desarrollista priman los procesos de aprendizaje sobre los procesos de enseñanza y el alumno es el centro del proceso docente educativo. Las acciones de aprendizaje emergen desde el interior del alumno, y lo hacen conciente de su proceso. Se utilizan como medios principalmente los mapas conceptuales.

Modelo social

Este modelo consiste en formar hombres y mujeres, en profesionales autónomos y concientes de su papel activo de la transformación de la sociedad. Los procesos instructivos se construyen a partir del desarrollo de las ciencias en relación con las necesidades sociales, respondiendo a problemas reales y específicos.

Los procesos pretenden potenciar en los estudiantes una personalidad autónoma a través de la crítica y la creación, dirigidas hacia las modificaciones de su devenir político ideológico y social.

El maestro actúa como un líder en la comunidad académica, autocrítico e investigador. El alumno es autónomo y responsable de su propio aprendizaje, toma conciencia de su contexto.

Usa como metodología, las pedagogías activas, aprender haciendo para plantearse un problema auténtico que estimule su pensamiento y lo resuelva según la información que posee y sus propias experiencias.

Se equilibra en este modelo el proceso de EA, pero bajo la concepción de grupo. El aprendizaje emerge desde el interior del alumno quien es conciente de su proceso. Los medios enfatizan el trabajo en grupo, talleres, técnicas de comunicación grupal.

APRENDIZAJE Y EVALUACIÓN

El proceso de evaluación hace parte de la didáctica y por eso es importante conocer cuales son los tipos de aprendizaje que se desean obtener, para determinar el tipo de evaluación que se debe realizar. Las diferencias individuales hacen que los procesos de aprendizaje sean diferentes para cada estudiante. Podría decirse que en cada uno de los modelos pedagógicos predomina un tipo de aprendizaje y este delinea la evaluación que debe realizarse. Así en el modelo tradicional y el conductista, predomina el aprendizaje por conocimientos; en el modelo desarrollista predomina el aprendizaje por entendimiento y por habilidades; y en el modelo social predomina el aprendizaje por valores. Estos tipos de aprendizaje y su forma de evaluación son los más comunes (Moreno, 2011) y son presentados por el investigador Blanco (Blanco, 2004) a continuación:

- Aprendizaje por conocimientos. En el cual se aprenden datos que son almacenados en la memoria. Su forma de evaluación se puede realizar mediante cuestionarios de sabe o no sabe o pruebas de memoria.
- El aprendizaje por entendimiento, comprensión, raciocinio y análisis. El cual es un aprendizaje profundo, que requiere pensar hasta entender y comprender los conceptos para poder utilizarlos de manera creativa. Su evaluación se puede hacer mediante la asignación de tareas diferentes a los ejercicios en clase, que requieran entendimiento más que memoria para su realización, como por ejemplo: proyectos de ingeniería, preguntas abiertas, solución de casos reales,

corrección a errores de otras personas, diseños, explicaciones.

- Aprendizaje por habilidades. Tanto intelectuales como manuales que se aprenden con la práctica. Esta la evaluación puede hacerse mediante la asignación de tareas que requieran el ejercicio de estas habilidades, allí el estudiante demuestra si ha adquirido la habilidad o no.
- Aprendizaje por valores y cualidades personales. Que vienen implícitos en el sujeto, de acuerdo con su cultura; y que se pueden mejorar o empeorar a través de la interacción social del estudiante con la comunidad universitaria. Su evaluación se hace mediante el contacto personal para reconocer el esfuerzo realizado por el estudiante en su mejoramiento personal como miembro activo de la comunidad universitaria y de su entorno.

COMO ES LA FORMACIÓN DEL INGENIERO? (VALENCIA, 2003)

Responder a esta pregunta exige primero entender que es la ingeniería y cuales son las características que debe tener un ingeniero. Esta es una definición que todavía no se ha acabado de construir, y para la cual existe un sinnúmero de apreciaciones, pero que podríamos resumir como lo plantea el investigador Valencia (Valencia, 2003), diciendo que la ingeniería es una profesión, que se basa en las disciplinas y que relaciona tres componentes: 1) la técnica, 2) la ciencia, y 3) la tecnología. El profesional ingeniero debe por lo tanto desarrollar habilidades para pensar con imaginación y visión; entender principios científicos y aplicar métodos analíticos al estudio de fenómenos naturales; concebir, organizar, y llevar hasta el final investigaciones experimentales apropiadas; sintetizar y diseñar; trabajar en campo o ambientes fabriles; disposición para estudiar continuamente. Teniendo claridad de estas habilidades que deben desarrollarse en un ingeniero, se comprende que la fundamentación científica es esencial, y así se estructuran las áreas básicas para su formación, las cuales comprenden:

- Área de ciencias básicas. Integrada por cursos de ciencias naturales y matemáticas.
- Área de ciencias básicas de ingeniería. Incluyen los cursos que estudian las características y aplicaciones de las ciencias básicas para fundamentar el diseño y mecanismos de solución a problemas de ingeniería.
- Área de ingeniería aplicada. O conjunto de conocimientos propios de un campo específico de la ingeniería.
- Área socio humanística. Que corresponden a los aspectos del hombre y la sociedad.
- Área económico-administrativa. Que permite integrar los procesos productivos dentro del contexto de la rentabilidad, de la gestión y de la eficiencia de los recursos físicos y humanos.

La existencia de estas áreas básicas de formación, tiene como finalidad formar ingenieros que tengan idoneidad para el abordaje en situaciones problemáticas típicas de la profesión, capacidad creadora para producir innovaciones, capacidad de análisis y reenfoque de los problemas sociales, manejo del pensamiento científico y metodologías de la investigación, sentido de contexto en su actividad, visión global del conocimiento, motivación para una actualización permanente; capacidad para integrar, formar y conducir equipos de trabajo; capacidad para tomar decisiones, cuidado con la preservación del medio ambiente y actitud crítica en el ejercicio de la profesión.

Así la estrategia para la formación de ingenieros debe hacer énfasis en lo formativo, más que en lo informativo; y además de las capacidades específicas para la profesión, se desarrollen las capacidades generales y las actitudes que ya se mencionaron. Esto implica, además de una fuerte formación básica en la profesión, preparar para aprender a aprender, la enseñanza activa y los conocimientos justo a tiempo. En resumen, se aspira a que la formación del ingeniero sea integral, de tal manera que en el período de escolaridad se proporcione las medidas idóneas para un crecimiento interior que reúna valores y saberes, con una capacidad para juzgar y evaluar su papel en cada una de las circunstancias profesionales a las que se enfrentará y deberá dar solución.

Y cuál es el papel de la evaluación en la formación del ingeniero?. En primer lugar, no debe entonces enmarcarse la enseñanza de la ingeniería dentro de un modelo tradicional, en el cual los contenidos pesen más que las habilidades, y con sus sistemas de evaluación que miden la capacidad de almacenar y recordar información, pero no tanto que hacer con ella. En segundo lugar, A pesar de esta necesidad de la ingeniería de trabajar con didácticas más activas, nos tropezamos permanentemente con un interrogante que nos lleva a reflexionar sobre que hacer cuando nos enfrentamos con currículos rígidos de ingeniería, que nos indican que debemos desarrollar un contenido programático, en el cual se siente el temor de violar o modificar. Cuando nos enfrentamos con recursos limitados frente a un número determinado de estudiantes que no se corresponden con esos recursos. Cuando además sentimos que los mismos estudiantes, todavía esperan tener sus cátedras magistrales con un modelo tradicional que es el que conocen, y su valoración frente al proceso depende de que tan buenos expositores sean los docentes. Como será que se pueden y deben vencer todas esas barreras, para que la evaluación entre en el proceso didáctico de EA, con la función que le corresponde: observar, describir, analizar, presentar alternativas, evaluar, solucionar, para que se produzcan transformaciones integrales, donde el aprendizaje del estudiante sea el centro del sistema. Esto implica necesariamente involucrar la evaluación como un proceso continuo.

No puede mantenerse un esquema de evaluación que genere un corte, como fue planteado al principio. Y se debe reflexionar, de cómo los exámenes parciales y los exámenes finales controlan el aprendizaje hasta un momento determinado con el fin de acreditar aprobación o desaprobación.

Tampoco podemos exagerarnos en realizar todo el proceso de EA en función de la evaluación, porque esto implicaría no ser natural, lo que significa la ausencia de situaciones que le permitan al estudiante asumir su aprendizaje en forma natural; tanto docentes como estudiantes no deberíamos estar pensando tanto en la evaluación y sí en el aprendizaje de los futuros ingenieros.

A MANERA DE PROPUESTA: COMO INCORPORAR LA EVALUACIÓN EN EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE?

Se plantea aquí una serie de reflexiones basadas en la constante preocupación y experiencia de los autores: como encontrar una didáctica adecuada en la cual el estudiante sea motivado por el deseo de aprender, y el proceso de evaluación sea natural, cuyo objetivo sea realmente identificar los puntos débiles en el proceso EA, y trabajar sobre ellos para fortalecerlos.

Sobre esta base se plantean apreciaciones acerca de lo que debería ser el proceso de evaluación y como incorporarla en el proceso de EA para que cumpla su función de retroalimentación y mejoramiento. Todavía no podemos decir que sea definitiva, y si más bien, que se está en permanente construcción y se pretende enriquecer en la medida que se conozcan y aplican más de acerca los procesos involucrados, y que se puedan tener más experiencias que sean indicativas del adecuado camino a seguir.

Hacer de la evaluación una situación aislada, cortada en un momento determinado del aprendizaje solo genera tensión en el estudiante, y todos podemos dar fe de dicha experiencia; y hace que lo aprendido no sea permanente, sino temporal, en cuanto el proceso de evaluación termina. Pero, además, con el riesgo de que el proceso no tenga éxito, y ocurra la desaprobación. Pues en esta evaluación lo que se pone a prueba es la capacidad de responder a la memoria bajo una situación de elevado estrés, en el cual el resultado puede ser un completo bloqueo ante lo que “se sabe”, generado por un estímulo al sistema nervioso, y eso será diferente para cada individuo. Inclusive, es diferente en el mismo individuo dependiendo de una circunstancia temporal.

En cambio, si se utiliza la evaluación como un proceso más permanente, en el cual el estudiante pueda enfrentar ciertas situaciones, que sean más próximas de la realidad, y pueda tomar actitudes frente a esas situaciones, para darles alguna solución, se considera que ya tiene más sentido. De alguna manera, la práctica docente actual pretende enfocar la evaluación en ese sentido. Tal y como lo plantea la investigadora Pruzzo (Pruzzo, 1999) quien propone concebir la evaluación como parte de la enseñanza, y así se pueden aportar datos para introducir mejoras. También que se le posibilite al alumno hacerse consciente de la causa de una dificultad y el aprendizaje se transforme en un acto consciente y activo, incluso para modificar el propio pensamiento. Guiar al estudiante para que en vez de la heteroevaluación, en la cual en el rol de profesor esta el decidir que tanto ha aprendido el estudiante a través de una valoración cuantitativa, se pase a la autoevaluación de sus propios aprendizajes.

Cuales serían entonces los instrumentos para esa evaluación?. Implicaría dejar de lado los tradicionales exámenes parciales, finales o quices. Los instrumentos serían otros, recurrir por ejemplo a la realización de informes, realización de monografías, presentaciones orales, resolución de cuestionarios, o problemas análogos a situaciones reales de ingeniería, visitas a industrias, realización de prácticas de laboratorio, talleres prácticos, salidas de campo, fabricación de prototipos; que permitan que el estudiante pueda recurrir a otros recursos distintos a su capacidad de memorización. Que se enfrente con una búsqueda bibliográfica y estado de arte, y pueda emplearla de manera analítica para solucionar su problema específico. Que además el estudiante sea capaz de vislumbrar que tal vez esa solución no sea única, y considere un abanico de alternativas, donde debe plantear la que considere la solución más viable y la más adecuada a su problema.

El empleo de estos instrumentos se convierte en un aspecto fundamental en el proceso de evaluación, pues ellos deben ser fuente de información del proceso de aprendizaje del estudiante, se pueden usar para comprenderlo y aportar la ayuda contingente necesaria en la reconstrucción de los errores.

Así, la información recogida a través de los instrumentos tiene una doble función. Primero, suministrarla al alumno para que a partir de los errores detectados pueda reconstruir las nociones, y se habla entonces de un error constructivo. Como segunda función, sirve al docente para entender su propia práctica y detectar posibles obstáculos, y reconsiderar aspectos que lo lleven a transformarla y mejorarla.

Características de la evaluación

Por lo anterior, podría enmarcar la evaluación dentro de tres características como lo plantea Pruzzo (Pruzzo, 1999): 1) una evaluación cooperativa, 2) una evaluación desde la enseñanza, y 3) una evaluación diagnóstica:

- Evaluación cooperativa. En tanto ayuda a la construcción de significados, es una evaluación para el aprendizaje, y se le llama formativa. Pues brinda información sobre el proceso de aprendizaje y emplea la corrección minuciosa para detectar errores constructivos, desde el aprendizaje del alumno y no desde la enseñanza. La diferencia radica en que al evaluar desde el aprendizaje, se detectan los errores, los obstáculos que dificultan el proceso de aprendizaje y se permite reflexionar en torno de ellos, cuáles son las causas.
- La evaluación desde la enseñanza. Tiene como finalidad analizar la marcha de la enseñanza y acreditar el saber, como una exigencia social.
- La evaluación diagnóstica. Se realiza desde la perspectiva del aprendizaje para recoger información sobre las representaciones de los alumnos que integran el grupo, antes de iniciar una situación nueva de aprendizaje. Enfoca a la vez marcos conceptuales del estudiante, así como los procesos intelectuales con que puede interpretar la realidad. Esta evaluación debe brindar información

acerca del manejo de procedimientos y conceptos por parte de los estudiantes. Permitirá comprender la situación inicial del alumno para proceder a adecuar la enseñanza y permitir anticiparse al fracaso, con medidas docentes de apoyo contingente.

Al considerar estas características de la evaluación para hacerla parte del proceso EA, que permita tomar acciones correctivas a tiempo y reflexionar acerca del proceso, debe dejarse claro entonces que no puede ser un acto de sorpresa para los estudiantes. Con esto se quiere decir que desde el comienzo deben existir criterios de evaluación claramente establecidos y que sean conocidos.

Propósitos y criterios de la evaluación

Para que lo anterior se cumpla es importante conocer cuales son los propósitos de la evaluación. Podemos referenciar lo mencionado por el investigador Blanco (Blanco, 2004):

- En el proceso de aprendizaje, para dar retroalimentación oportuna a los estudiantes y profesores acerca de su trabajo, se debe comprender el proceso de aprendizaje del estudiante para orientar el logro de objetivos, y diagnosticar debilidades y fortalezas de los estudiantes para diseñar estrategias didácticas y de aprendizaje.
- En la certificación o calificación, para certificar el cumplimiento de los objetivos.
- En el aseguramiento de la calidad de la disciplina para verificar si se cumplen los objetivos y permitir el seguimiento para tomar acciones correctivas a tiempo, crear conciencia en los profesores y los estudiantes acerca de los cambios de la pedagogía actual y fomentar el cambio de actitudes y prácticas en los procesos de aprendizaje y enseñanza.

Y después de conocer los propósitos de la evaluación, se debe entonces definir los criterios para realizarla.

La investigadora de Camilloni y sus colegas (de Camilloni *et al.*, 1998) argumentan que esos criterios deben permitir la construcción de juicios de valor acerca de lo que la información recogida significa en términos de aprendizaje de los alumnos. No basta entonces solo con recoger la información, sino que ésta debe ser analizada e interpretada. La interpretación conduce a la construcción de juicios de valor que son característicos de la evaluación como función didáctica.

Los juicios de valor pueden ser contruidos de dos maneras, y como ellas son de naturaleza diferente, debe buscarse el modo de articularlas: 1) una de ellas puede responder a estados afectivos del docente, relacionados con actitudes de rechazo, de agrado o desagrado ante determinada conducta del alumno, observada directamente, inferida de conductas observadas; 2) pero también el juicio de valor puede surgir como producto de una elaboración seria y rigurosa de la información recogida sistemáticamente a partir de una base de conocimientos que le da objetividad. La evaluación es un recurso

indispensable para el mejoramiento de los procesos de EA, y los juicios de valor construidos deben ser coherentes con los procesos.

Para establecer esos criterios de evaluación, es pertinente conocer cuáles son las características que deben tener los instrumentos de evaluación, las cuales son: 1) validez, 2) confiabilidad, 3) practicidad, y 4) utilidad:

- La validez, esta referida a que el instrumento realmente evalúe lo que pretende evaluar. Y a su vez esta considera la validez de contenido, la validez de construcción, la validez predictiva, la validez de convergencia, la validez manifiesta, la validez de significado y la validez de retroacción, así: 1) la validez de contenido representa una muestra significativa del universo de contenido cubierto por el curso. Los contenidos deben ser importantes por su significación en el aprendizaje de los alumnos; 2) la validez de construcción, la dificultad en la construcción del instrumento, es la gran cantidad y variedad de los contenidos y la brevedad de los tiempos destinados a la evaluación del aprendizaje; 3) la validez de predicción se refiere a la correlación que existe entre los resultados obtenidos y el desempeño posterior del alumno en aspectos que corresponden al área evaluada por las pruebas. Deben contribuir a pronosticar los éxitos y las dificultades de los sujetos del aprendizaje tanto en los aprendizajes posteriores de las asignaturas escolares cuanto en sus desempeños ocupacionales o en su actuación social; 4) la validez de convergencia concierne a la relación que existe entre un programa de evaluación o un instrumento y otros programas o instrumentos de validez ya conocidos. Esta es de gran importancia cuando se modifican prácticas establecidas en la evaluación para mejorar su validez, su confiabilidad o su practicidad; 5) La validez manifiesta se refiere al modo en que el programa y el conjunto de pruebas aparecen ante el público. Exige que los instrumentos evalúen de forma verosímil los aprendizajes, para que mantenga su transparencia y se convierta en autoevaluación; 6) la validez de significado se centra en la relación que se establece desde la perspectiva de los estudiantes entre el programa y los instrumentos de evaluación por un lado, y los procesos de enseñanza aprendizaje por el otro. Se busca que la evaluación tenga significado para el estudiante, constituyéndose en un desafío en el que ponga su mejor esfuerzo de producción; 7) la validez de retroacción impone la realización de acciones de corrección con el fin de restablecer el verdadero sentido didáctico de los procesos de evaluación.
- En cuanto a la confiabilidad, se dice que un instrumento de evaluación es confiable cuando reúne la exactitud en la medición y la sensibilidad para la apreciación de la presencia, y las diferencias de magnitud de los rasgos que mide. Para que los resultados sean confiables, estos deben ser estables, permaneciendo semejantes en todas las ocasiones en que se administre el instrumento. Un instrumento confiable permite aislar los aspectos que mide de otros que para el caso se consideren irrelevantes. Debe detectar si el aprendizaje o rasgo evaluado esta presente o ausente, pero debe hacerlo con sensibilidad y sin ambigüedad ante las variaciones de intensidad, profundidad y calidad de las conductas

observadas o inferidas. Entre los factores que afectan la confiabilidad están la longitud y duración de la prueba, y las condiciones de administración del instrumento.

- La practicidad de un instrumento resulta de la conjunción de tres aspectos: 1) su administrabilidad; 2) la facilidad de análisis e interpretación de resultados y la elaboración de conclusiones; y 3) la evaluación de la economía de tiempo, esfuerzo y costo de utilización.
- La utilidad del instrumento de evaluación resulta de su capacidad para satisfacer las necesidades específicas relacionadas con los procesos de EA. ¿Que uso se les dará a los resultados obtenidos?. ¿Son los implicados en los procesos de evaluación quienes deben dar las respuestas.

Con todo esto, se quiere resaltar entonces que la evaluación no puede ser considerada como un proceso aislado, parcial o final en todo el proceso de EA; por lo tanto, no se puede pensar en modificar sus estrategias de forma aislada, sin considerar el proceso de EA como un todo, esto implica también un cambio en la didáctica. Pensar en las nuevas propuestas de didácticas activas como el aprendizaje basado en problemas, aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje basado en retos, aprendizaje basado en juegos, el estudio de casos, el seminario investigativo; que incluyen la evaluación dentro de todo el proceso, se hace muy atractivo. Sin embargo, la implementación de estas metodologías como son planteadas en los modelos originales no es tan simple que sean implementadas en nuestro medio. Y nuevamente se hace alusión a las barreras existentes desde el punto de vista de los recursos, de la cultura de los estudiantes, y del mismo diseño curricular actual de los programas de ingeniería.

Tal vez el primer aspecto que debe ser analizado y atacado para ser resuelto sea la cultura de los estudiantes. Al iniciar cualquier transformación de esta índole, el estudiante debe ser sensibilizado para que no sea tomado de sorpresa en la utilización de una metodología en la cual su participación activa es muy importante. Cuando se indaga entre los estudiantes su apreciación con el uso de estas metodologías, nos encontramos con opiniones muy variadas. Aquellos para quienes es muy importante y satisfactorio ser participes en el proceso de aprendizaje, y en general son estudiantes que tienen alguna participación en los semilleros de investigación o en trabajos de investigación. Aquellos, y son en gran mayoría, que consideran que la clase en la cual el profesor no actúa como un transmisor, no es una buena clase, aludiendo además que es demasiado trabajo tener que ir a la biblioteca o estudiar un tema que debería ser presentado por el profesor. Esto nos lleva a una reflexión adicional, ¿será que nosotros como docentes no estamos entendiendo y asumiendo bien nuestro papel en esas metodologías, o nuestros estudiantes no están entendiendo nuestra posición porque simplemente no se las hemos aclarado?. Por eso nos parece que debe ser un proceso que inicie desde los primeros semestres y que no debe ser truncado en ninguna fase, una vez que sea iniciado.

Pero además, esa sensibilización no puede darse de una manera aislada al diseño del currículo, en el cual se establezca unas políticas generales y claras, en el uso de estas metodologías, tal que el proceso que se inicie en los primeros semestres, sea progresivo hacia los últimos semestres, y sea tomado ya más naturalmente, tanto por parte de los profesores, como por parte de los alumnos. Y que también se pueda integrar el trabajo de todos los profesores, para que de alguna manera sean consecuentes sus metodologías. Cabría aquí la pregunta, será que esto atenta contra la libertad de cátedra?. Tal vez, pero si el esfuerzo no es colectivo entre todo el cuerpo docente, vemos el proceso más difícil aún. Muchas veces sentimos la necesidad de una socialización con los colegas docentes acerca de sus metodologías. Creemos que sería muy enriquecedor conocer cuales son las metodologías que utilizan y que resultados arrojan, si bien tenemos claro que eso depende del grupo, de la disciplina y del mismo profesor. Y que hay metodologías que no se pueden o logran utilizar en algunas disciplinas, si se puede ampliar el espectro de alternativas a ser utilizadas, y experimentar para su éxito.

Pero creemos que no solo basta el esfuerzo y el compromiso de profesores y estudiantes, pues en la enseñanza de profesiones como la ingeniería, en la cual la componente práctica es muy importante, la disponibilidad de recursos es imprescindible. En ese sentido, debe haber un compromiso institucional para que haya una mejora en esos recursos, de tal manera que haya una correspondencia entre lo disponible y el grupo con el que se trabaja.

Esto último se refleja al analizar la evaluación que los estudiantes hacen de los cursos, y ellos evidencian que los equipos y las condiciones en que estos se encuentran no son suficientes y adecuados, entorpeciendo su proceso de aprendizaje. Pero además se evidencia cuando un equipo se hace imprescindible para desarrollar el objeto de estudio, y la disponibilidad de este en relación al grupo es de uno para cuatro estudiantes, implicando una actividad efectiva dentro del proceso de EA de 25%.

Debe ser entonces un esfuerzo compartido entre todos los actores de los procesos de EA, para que realmente sea exitoso, y así sea reflejado en la evaluación.

CONCLUSIONES

En torno a la evaluación son muchos los aspectos que pueden ser considerados, muchos de los cuales ni siquiera fueron mencionados en esta reflexión.

Se puede constatar a través de la revisión presentada que la evaluación es un asunto de gran preocupación para quienes les interesa el ambiente pedagógico y didáctico aplicado a la ingeniería; y que las pedagogías activas realmente se preocupan en introducir la evaluación como parte de la didáctica del proceso de EA y no en su fase final, como un indicador simplemente cuantitativo. Se encuentra también a partir de las reflexiones, con que es una temática que necesita muchísimo más estudio para ser implementado en un área específica. Y además no es una práctica fácil de realizar, en tanto exige tener bastante claridad de cada una de las fases del proceso. Pero también cualquier intento que se haga en pro de su mejoramiento y de su utilización constituye ya un inicio en el cambio.

De todas maneras, en el proceso de EA no puede prescindirse de la evaluación, y debe ser una herramienta que permita valorar el proceso, para esto es indispensable la creación de juicios de valor con sus criterios de validez, confiabilidad, practicidad y utilidad. Sus resultados y análisis deben producir una retroalimentación al proceso de tal manera que puedan identificarse los causales de fracaso y poder tomar acciones correctivas sobre él, con el objetivo de mejorarlo. Esta es la razón de ser de la evaluación.

Tanto docentes con estudiantes somos agentes claves para el mejoramiento continuo del sistema de evaluación en el proceso de EA de la ingeniería, los docentes debemos buscar y emplear los modelos pedagógicos apropiados para cada temática que enseñamos, debemos tener en cuenta que no todos los estudiantes aprenden de la misma forma y no todo se puede enseñar de la misma manera, los docentes deben ser líderes en el proceso e implica ser estudiosos en la relación aprendizaje y evaluación; por otro lado los estudiantes deben tomar conciencia de que lo que aprenden debe ser una aprendizaje significativo y para la vida, y no solo aprender temporalmente para realizar una evaluación, los estudiantes deben potenciar su formación hacia una personalidad autónoma, crítica y creativa, en pro de su buen desempeño profesional como ingenieros.

REFERENCIAS

Blanco Rivero, Luis Ernesto. (2004). **Se podrá disminuir la deserción estudiantil mejorando la evaluación?**. En: El futuro de la formación en ingeniería. Cartagena de Indias. pp. 301-307.

de Camilloni, Alicia R.E. *et al.* (1998). **La evaluación de los aprendizajes en el debate didáctico contemporáneo**. Editorial Paidós. Buenos Aires, Argentina.

González Agudelo, Elvia María. (1998). **Entre los modelos pedagógicos, las mediaciones curriculares y las estrategias didácticas**. Revista CINTEX, [S.l.], v. 7. pp. 19-31.

González Agudelo, Elvia María. (2001). **Un recorrido por los modelos pedagógicos a través de sus didácticas**. México.

González Agudelo, Elvia María. (2005). **Los modelos pedagógicos o las pedagogías del conocimiento**. Documento desarrollado dentro del proyecto Sábado de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

House, Ernesto R. (1994). **Evaluación, ética y poder**. Segunda edición. Editorial Morata. Madrid, España.

Litwin, Edith. (1998). **La Evaluación. Un Campo de controversias y paradojas o un nuevo lugar para la buena enseñanza**. En La evaluación de los aprendizajes en el debate didáctico contemporáneo. pp. 11-33.

Moreno Olivos, Tiburcio. (2011). **Consideraciones Éticas en la Evaluación Educativa**. REICE. Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación, vol. 9, núm. 2, pp. 130-144. Red Iberoamericana de Investigación Sobre Cambio y Eficacia Escolar. Madrid, España.

Pruzzo de Di Pego, Vilma. (1999). **Evaluación curricular: Evaluación para el aprendizaje. Una propuesta para el Proyecto Curricular Institucional.** Editorial Espacio, Primera Edición. Buenos Aires, Argentina. pp. 207.

Quiceno, Humberto. (2002). **20 años del Movimiento Pedagógico 1982-2002. Entre mitos y realidades.** Movimiento pedagógico: posición crítica y lugar de liberación. En: Suárez Hernán (comp.). Colombia: Editorial Magisterio. pp. 95-128).

Quiceno Castrillón, Humberto; Peñaloza T., Martha Lucía. (2014). **El dispositivo de la evaluación: cartografía de la producción de conocimiento en el campo de la evaluación en Colombia, 1990-2014.** Pedagogía y Saberes, núm. 41, pp. 45-61. Universidad Pedagógica Nacional Bogotá, Colombia.

Valencia Giraldo, Asdrúbal. (2003). **Una aproximación a la ingeniería.** Editor Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Colombia. pp. 225-254.

CONTRIBUIÇÃO DA INICIAÇÃO CIENTÍFICA PARA CRESCIMENTO PROFISSIONAL DO ESTUDANTE DE GRADUAÇÃO

Data de aceite: 26/08/2024

Roberto Yuri Costa Dias

Universidade Federal do Pará
Belém, Pará, Brasil
<https://orcid.org/0009-0008-6386-2667>

Rafael Vilhena Soares

Universidade Federal do Pará
Belém, Pará, Brasil
<https://orcid.org/0009-0003-8321-2665>

Pedro Victor de Mendonça Maia

Universidade Federal do Pará
Belém, Pará, Brasil
<https://orcid.org/0009-0004-7723-4312>

Alian Gomes da Silva de Mendonça

Universidade Federal do Pará
Belém, Pará, Brasil
<https://orcid.org/0009-0005-6324-1631>

Thomaz Osmane dos Santos Rocha

Universidade Federal do Pará
Belém, Pará, Brasil
<https://orcid.org/0009-0002-1482-277X>

Roberto Tetsuo Fujiyama

Universidade Federal do Pará
Belém, Pará, Brasil
<https://orcid.org/0000-0002-2738-6666>

RESUMO: A transição dos estuantes para o ensino superior pode apresentar desafios e exigir certas adequações, inúmeras mudanças são verificadas. Existem alguns programas que visam integrar o aluno em atividades acadêmicas, a exemplo do PIBIC (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica), o qual objetiva inserir discentes em práticas de pesquisa científica, aplicando metodologias de pesquisa e escrita científica. Nesse sentido, o presente trabalho visa apresentar as contribuições da inserção de graduandos neste programa, na sua formação além de avaliar dados de discentes atuaram como bolsistas e produziram TCCs (Trabalhos de Conclusão de Curso), verificando sua participação em: artigos de eventos, de periódicos, em capítulos de livro, patentes e dissertações de mestrado. Para isso foi procedida uma pesquisa a partir dos Currículos Lattes dos pesquisadores do Laboratório de Materiais Compósitos (LABCOM) da Universidade Federal do Pará (UFPA), sendo quantificados 41 alunos que participaram como bolsistas PIBIC. Foram constatadas maiores quantidades forma de eventos (161), seguido de publicação de artigos em periódicos (75). Dentre os 13 alunos que produziram TCC, 3 discentes produziram dissertações de mestrado, cerca de 23% do total.

PALAVRAS-CHAVE: Pesquisa científica, PIBIC, TCC.

CONTRIBUTION OF SCIENTIFIC INITIATION TO PROFESSIONAL GROWTH OF UNDERGRADUATE STUDENT

ABSTRACT: The transition of students to higher education may present challenges and require certain adjustments, numerous changes are verified. There are some programs that aim to integrate the student in academic activities, such as PIBIC (Institutional Program of Scientific Initiation Scholarships) which aims to insert students in scientific research practices, applying research methodologies and scientific writing. In this sense, the present work aims to present the contributions of the insertion of graduate students in this program, students in their training and also evaluate data of students acted as scholarship holders and produced TCCs (Course Completion Papers), verifying their participation in: articles of events, journals, in book chapters, patents and master's theses. For this, a research was carried out from the Lattes Curricula of the researchers of the Laboratory of Composite Materials (LABCOM) of the Federal University of Pará (UFPA) and 41 students who participated as PIBIC fellows were quantified. Higher quantities were found in the form of events (161), followed by publication of articles in journals (75). Among the 13 students who produced TCC, 3 students produced master's theses, about 23% of the total.

KEYWORDS: Scientific research, PIBIC, TCC.

INTRODUÇÃO

Durante a transição dos estudantes do ensino médio para o ensino superior, são observadas mudanças consideráveis, sendo assim, os discentes são submetidos a um processo de adaptação, por conta das novas demandas. Dentre os fatores que promovem esta adaptação, tem-se: novas metodologias ensino e avaliação, geralmente atreladas a dificuldade de compreensão do conteúdo ministrado e encontrado nos livros didáticos por conta da linguagem técnica, além do nível de dificuldade das avaliações, a partir da complexidade das questões e exercícios (Santos *et al.*, 2012).

Diante das dificuldades de adaptação dos discentes, avalia-se também a ocorrência de evasão estudantil, sobretudo em curso de engenharia. Sendo verificados maior quantidade de desistências nos primeiros semestres dos cursos (Cavalcante *et al.*, 2014). A partir desta perspectiva, atividades acadêmicas desenvolvidas pelos alunos podem ser avaliadas como fatores de inclusão e que contribuem para que os discentes concluam suas graduações.

As instituições de ensino superior apresentam como principal vertente de desenvolvimento de atividades três componentes básicos: ensino, pesquisa e extensão. No âmbito da pesquisa, projetos de iniciação científica visam proporcionar ao discente um aprendizado acerca de diversos fatores importantes para o desenvolvimento acadêmico do aluno (Pinho, 2017). Logo, a participação em tais programas é importante no sentido de aliar a teoria assimilada durante as aulas com a vivência dos profissionais que trabalham diretamente com determinada vertente de estudo, sendo um diferencial na formação dos discentes (Albuquerque, 2021).

O PIBIC (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica), foi criado na década de 80, pelo CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), objetivando a difusão da vivência acadêmica e aprimoramento da formação dos discentes com direcionamento à pesquisa, a partir da concessão de bolsas. Dentre outras objetivações do PIBIC, destacam-se: geração de interesse dos discentes pela pesquisa e proporcionar entendimento de práticas metodológicas de pesquisa e escrita científica, favorecendo também a conclusão dos cursos de graduação e de uma possível pós-graduação, também foi atestado que estudantes que participam do PIBIC possuem uma chance 2,2 vezes maior de completar o mestrado (CGEE, 2017).

Em pesquisa realizada avaliando a contribuição PIBIC/ICMBio na formação acadêmica e profissional dos discentes, constatou-se que o programa proporciona capacitação aos discentes que irão ingressar no mercado de trabalho, reduz o distanciamento entre graduação e pós-graduação, além de incentivar a criatividade e o conhecimento científico (de Albuquerque *et al.*, 2022)

Portanto, o presente trabalho visa apresentar uma pesquisa avaliando os efeitos da inclusão de alunos no PIBIC, a partir do Laboratório de Materiais Compósitos (LABCOM) da Universidade Federal do Pará (UFPA). Foi quantificado o número de graduandos que receberam uma bolsa de iniciação pelo laboratório e posteriormente produziram TCC (Trabalho de Conclusão de curso), ingressaram em uma pós-graduação (Mestrado e/ou Doutorado) e também as publicações realizadas por esses discentes.

METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa a partir dos Currículos Lattes dos pesquisadores do LABCOM, sendo quantificados 41 alunos que participaram como bolsistas PIBIC. Posteriormente foi verificado quantos destes alunos produziam TCC, Mestrado e Doutorado. Além disso, também foram mensuradas as publicações destes estudantes, sendo subdivididas em artigos e resumos para eventos (Congressos, Simpósios, etc.), para periódicos, capítulos de livro, patentes e projetos de pesquisa.

Além disso, a partir da quantificação dos TCCs dos alunos que participaram da Iniciação Científica, foi verificada a quantidade de participações destes discentes em artigos e resumos para eventos, periódicos, capítulos de livro, patentes e dissertações de mestrado.

O PROGRESSO DOS ALUNOS PIBIC

A figura 1 representa os diferentes trabalhos que foram realizados no LABCOM a partir dos graduandos de iniciação científica, a quantidade de TCCs produzidos, publicações, patentes submetidas e ingressos em Mestrado e Doutorado, no período de 1999-2023. Foram verificados 41 bolsistas de iniciação científica durante o período. Para

os trabalhos, observa-se que as maiores quantidades forma de eventos (artigos publicados em congresso, seminário, simpósio, etc.) (161), seguido de publicação de artigos em periódicos (75) e de participação em projetos de pesquisa (61), representado por “projeto de pesquisa”, todos estes com a participação de pelo menos um discente.

Quanto a formação, observa-se que dos 41 alunos PIBIC 13 produziram TCCs, 5 fizeram mestrado e 3 concluíram ou estão em fase final de doutorado. Observa-se que 2 alunos tiveram envolvimento e participaram na elaboração e submissão de patentes no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual – INPI. Vale ressaltar que dois dos 3 Doutorados encontram-se em andamento em outras Universidades e somente um foi concluído e produzido no LABCOM da UFPA. Como observado, a tendência de um aluno PIBIC é a publicação em eventos e periódicos.

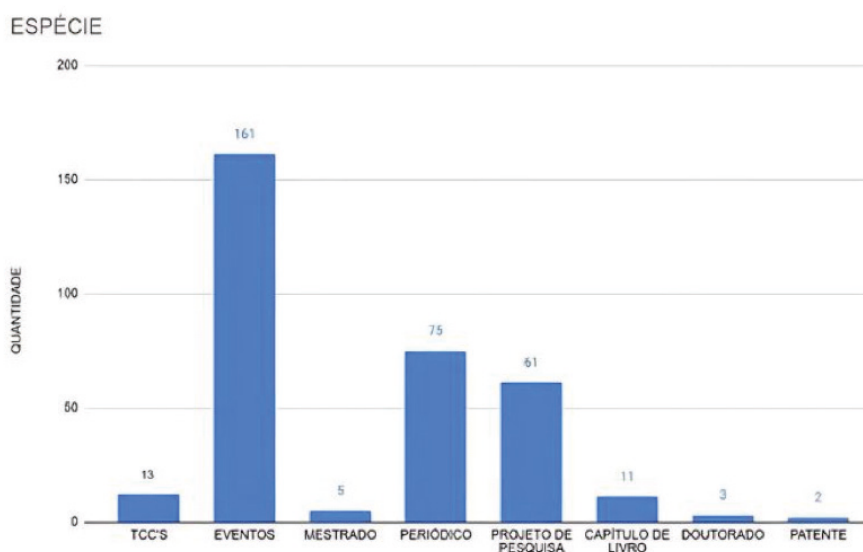


Figura 1. Tipos de trabalhos publicados por pesquisadores do LABCOM entre os anos 1999 e 2023.

A partir dos 13 TCCs que foram oriundos de projetos de iniciação científica, foi quantificado o número de participações em trabalhos por parte dos discentes. Sendo verificadas 141 participações em artigos de eventos, 69 em artigos de periódicos, 20 em capítulos de livro, 2 patentes e 3 dissertações de mestrado. Além disso, dentre estes, 4 alunos possuíram participação de em publicação em eventos, periódicos e capítulo de livro, simultaneamente. Os dados apresentados estão ilustrados pelo gráfico apresentado na Figura 2.

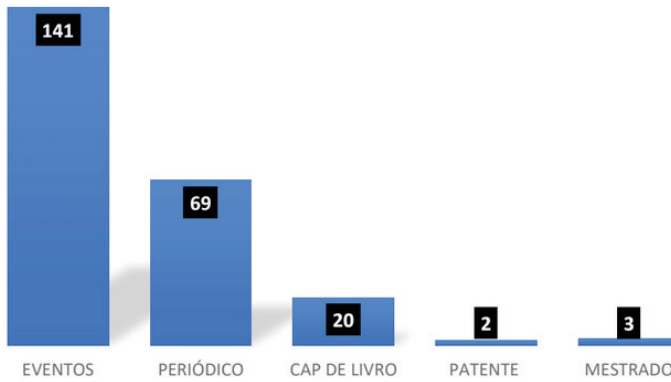


Figura 2. Participações em trabalhos a partir dos TCCs

A Figura 3 apresenta a relação percentual entre participação dos discentes em artigos de eventos e periódicos, enquanto a Figura 4 relaciona eventos em relação a periódicos e capítulos de livro. A figura 5 apresenta a relação percentual de publicações em eventos em contraste a periódicos, capítulos de livro, patentes e dissertações de mestrado.

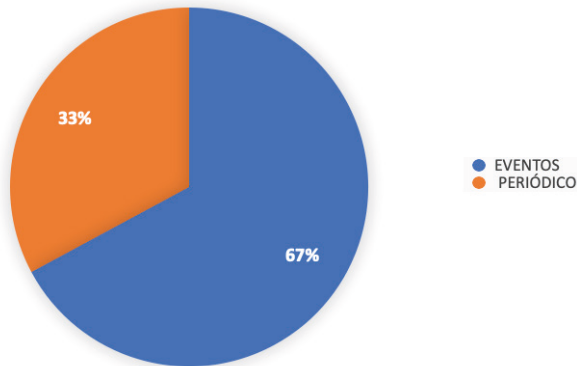


Figura 3. Percentual de publicações em eventos em relação a periódicos

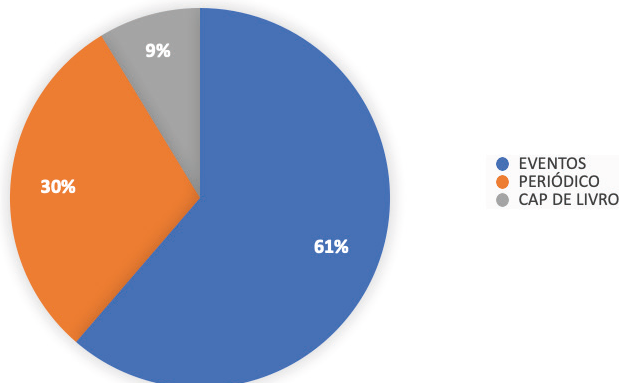


Figura 4. Percentual de publicações em eventos em relação a periódicos e capítulos de livro

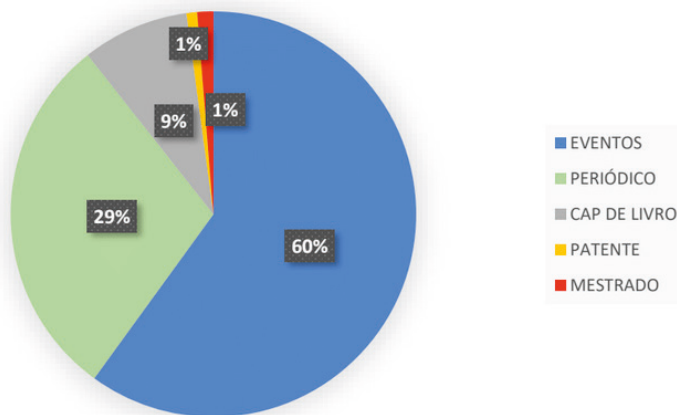


Figura 5. Percentual de publicações em eventos em relação a periódicos, capítulos de livro, patentes e dissertações de mestrado.

Vale ressaltar também que dentre os 13 discentes dos TCCs quantificados, 3 alunos apresentaram participação em eventos acima de 32 vezes, 4 possuíram participação em periódico em pelo menos 10 oportunidades, enquanto em capítulos de livro, 2 alunos possuíram 6 participações. Sendo verificada uma grande participação dos discentes na produção de artigos para eventos e periódicos. Esta quantidade pode ser embasada a partir do aprendizado do método de pesquisa e escrita científica durante a participação do programa de iniciação científica, bem como afirmado por CGEE, 2017.

Dentre alunos advindos do PIBIC que produziram TCCs, observa-se que 3 discentes produziram dissertações de mestrado, ou seja, aproximadamente 23% do total. Além de concluírem o curso, os alunos que finalizaram o mestrado geram a constatação dos resultados apresentados pelas pesquisas realizadas por CGEE, 2017 e de Albuquerque *et al.*, 2022. Verificando a atuação do PIBIC como um fator que contribui significativamente para conclusão do curso dos graduandos e seu ingresso em pós-graduação.

CONCLUSÃO

O presente artigo visou apresentar as contribuições da participação de graduandos no PIBIC (Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica) na sua formação e avaliar dados de discentes que participaram do programa e produziram TCCs (Trabalhos de Conclusão de Curso), verificando sua participação em: artigos de eventos, de periódicos, em capítulos de livro, patentes e dissertações de mestrado. Constatou-se que a maior quantidade de participações se dá em artigos de eventos e periódicos, com 161 e 75 publicações, respectivamente. Somente duas patentes foram produzidas. Para os discentes que produziram TCC, verificou-se 141 e 69 participações em publicações de eventos e periódicos Houveram 3 dissertações de mestrado defendidas a partir dos discentes oriundos do PIBIC e que produziram TCCs, equivalente a cerca de 23% do total.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a PROPESP-UFPA pela Bolsa de Iniciação Científica. Agradecem ainda a Faculdade de Engenharia Mecânica do ITEC UFPA, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica ITEC-UFPA, CNPq e CAPES.

REFERÊNCIAS

Albuquerque, E. M. M. et al. Contribuições da Iniciação Científica para a Formação Acadêmica e Profissional de Estudantes do PIBIC/ICMBio: Percepções dos Egressos. *Biodiversidade Brasileira*, v. 12, n. 1, p. 159-183, 2022.

Cavalcante, D. N. S.; Rodrigues, T. O.; Silveira, W. Y. A.; Júnior, F. C. A.; Camarço, J. B. N.; Neto, J. N. L.; Brito, A. P. Q.; Vieira, A. C. F. Semana do bixo do CAET: um caso de sucesso no combate à evasão de calouros no curso de engenharia de telecomunicações do IFCE. In: *XLII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*, 2014, Juiz de Fora

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - CGEE. *A Formação de novos quadros para CT&I: avaliação do programa institucional de bolsas de iniciação científica (Pibic)*. Brasília, DF: 2017. 44p.

de Albuquerque, E. M. M., Oliveto, F. A., Salzo, I., Brom, P. C. Contribuições da Iniciação Científica para a Formação Acadêmica e Profissional de Estudantes do PIBIC/ICMBio: Percepções dos Egressos. *Biodiversidade Brasileira*, v. 12, n. 1, p. 159-183, 2022.

Pinho, A. P. M.; Tupinambá, A. C. R.; Bastos, A. V. B. O desenvolvimento de uma escala de transição e adaptação acadêmica. *Revista de Psicologia*, Fortaleza, v.7 n.1, p. 51-64, 2016

Santos, Caio J. B. M.; Júnior, E. S. S.; Leão, Luiz I. F.; Das Neves, R.M.A. inserção dos estudantes de engenharia na universidade e as dificuldades de adaptação. In: *XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia*, 2012, Belém.

APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO PERMEÁVEL A FIM DE DIMINUIR AS OBSTRUÇÕES NA COBERTURA DE ELEMENTOS DRENANTE

Data de aceite: 26/08/2024

Alvimar Malta

Professor Mestre do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Newton Paiva

Rayane Amorim

Graduando do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Newton Paiva

Rafael Bicalho

Graduando do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Newton Paiva

Thiago Serino

Graduando do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Newton Paiva

Pedro Henrique Rodrigues Silva

Graduando do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Newton Paiva

Flávia Trindade

Graduando do curso de Engenharia Química do Centro Universitário Newton Paiva

RESUMO: A aplicação de revestimento permeável é uma estratégia eficaz para diminuir as obstruções na cobertura de elementos drenantes, tais como as tampas de boca de lobo. As bocas de lobo, componentes dos sistemas de drenagem urbana, desempenham um

papel fundamental na gestão adequada das águas pluviais, auxiliando na redução de eventos de inundações e facilitando a condução das referidas águas aos corpos hídricos receptores. Durante sua vida útil, essas tampas de bocas de lobo podem ter sua eficiência comprometida devido à obstrução em função do acúmulo de resíduos sólidos eventualmente carreados ao sistema. Foi confeccionada uma placa em concreto permeável, conforme ABNT NBR 16416:2015 com a adição de fibras de vidro, e confeccionados corpos de prova cilíndricos (10 cm x 20 cm), com as mesmas adições, e posteriormente ensaiados à compressão conforme (ABNT NBR 5739:2018). Foi realizado ensaio de permeabilidade (ABNT NBR 16416:2015) na placa, de modo a se aferir a sua capacidade drenante. Os resultados de resistência a compressão não alcançaram o valor de 22,0 MPa previsto conforme DNIT (2004) em nenhum dos 3 cenários ensaiados, todavia, vale ressaltar que os cenários 2 e 3 apresentaram um acréscimo de resistência quando comparados ao cenário de referência. Já o cenário 1, mesmo com a adição da fibra de vidro, não apresentou acréscimo de resistência em relação ao cenário de referência. No tocante

à capacidade drenante da placa, observou-se que ela apresentou níveis de permeabilidade da ordem de 8,73 % da capacidade drenante de uma tampa de boca de lobo convencional. Conclui-se que a utilização do concreto permeável demandaria o aumento da área da tampa da boca de lobo para que a permeabilidade seja compatível com a proporcionada pela tampa de lobo convencional.

PALAVRAS-CHAVE: Drenagem; Revestimento; Permeabilidade.

APPLICATION OF PERMEABLE COATING IN ORDER TO REDUCE OBSTRUCTIOS IN DRAINAGE ELEMENTS

ABSTRACT: The application of permeable coating is an effective strategy to reduce obstructions in the coverage of draining elements, such as manhole covers. drain, components of urban drainage systems, play a key role in the proper management of stormwater, helping to reduce flooding events and facilitating the conduct of said Waters to receiving water bodies. During their useful life, these wolf mouth covers may have their efficiency compromised due to obstruction due to the accumulation of solid waste eventually carried to the system. A permeable concrete plate was made, according to ABNT NBR 16416:2015 with the addition of glass fibers, and cylindrical specimens (10 cm x 20 cm) were made, with the same additions, and later compression tested according to (ABNT NBR 5739: 2018). Permeability test (ABNT NBR 16416:2015) was performed on the plate, in order to assess its draining capacity. The compressive strength results did not reach the value of 22.0 MPa predicted according to DNIT (2004) in any of the 3 scenarios tested, however, it is worth noting that scenarios 2 and 3 showed an increase in strength when compared to the reference scenario. Scenario 1, even with the addition of fiberglass, showed no increase in strength compared to the reference scenario. Regarding the draining capacity of the plate, it was observed that it presented permeability levels of the order of 8.73% of the draining capacity of a conventional manhole cover. It is concluded that the use of permeable concrete would require an increase in the area of the manhole cover so that the permeability is compatible with that provided by the conventional manhole cover.

KEYWORDS: Dreainage; Coating; Permeability.

INTRODUÇÃO

Nas sociedades contemporâneas, os desafios associados à drenagem urbana estão cada dia maiores. Nesse contexto, sente-se a necessidade de buscar soluções que mitiguem os problemas oriundos de obstrução dos dispositivos drenantes que, por consequência, poderiam diminuir a ocorrência de alagamentos nos grandes centros (TUCCI, 2003).

Tratar essa situação adversa impacta diretamente na qualidade de vida e no bem-estar da população, por isso este artigo busca analisar novas soluções construtivas acerca das tampas de boca de lobo, a fim de utilizá-las nos elementos drenantes já existentes e manter, se possível, a mesma eficiência drenante destes, mas sem permitir que haja carreamento de material particulado indesejado para o sistema de drenagem de águas pluviais urbanas, porque todos os materiais indesejados serão retidos no próprio revestimento (TUCCI, 2003).

Ademais, o ordenamento jurídico brasileiro, através da Lei 11.445/2007, instituiu as diretrizes que devem ser seguidas na esfera nacional acerca do saneamento básico. Tal instrumento subdivide o saneamento básico em quatro grandes pilares: abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. O tema deste artigo, portanto, encontra-se associado ao saneamento básico através da drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Entende-se que esta pesquisa contribui, sobremaneira, com a diminuição da incidência dos entupimentos das bocas de lobo, não permitindo a entrada de particulados grosseiros. Além disso, acredita-se que a solução proposta possa contribuir para a potencialização da capacidade dos sistemas de drenagem urbana, e dos corpos receptores das águas pluviais. Outrossim, com esse estudo, busca-se otimizar os dispositivos já existentes quanto a eficiência da drenagem nas vias públicas (TUCCI, 2003).

Objetiva-se, assim, desenvolver um concreto permeável, confeccionado com fibra de vidro, que auxiliará no impedimento de obstruções com pouco ou nenhum comprometimento da eficiência da drenagem das vias públicas urbana, em situações de elevado volume de água. Através da realização de ensaios laboratoriais relativos à drenagem e à resistência mecânica, pretende-se elaborar o referido material de modo a aprimorar o desempenho tecnológico das tampas de lobo nas vias públicas urbanas.

Considerando-se esses aspectos, o presente trabalho tem como objetivo geral propor a substituição do atual modelo de tampa de boca de lobo por um revestimento que seja permeável e impeça a passagem de sólidos. Os objetivos específicos são verificar quais materiais podem compor um revestimento poroso, bem como realizar ensaios de permeabilidade e resistência à compressão, nos revestimentos escolhidos e, portanto, analisar os possíveis modelos para substituir as tampas atuais. Nesse sentido, pretende-se comprovar a viabilidade do uso do concreto permeável com fibra de vidro no revestimento das bocas de lobo atualmente utilizadas.

Drenagem urbana no Brasil

Os serviços de drenagem e manejo das águas pluviais nas áreas urbanas brasileiras já se encontram respaldados em legislação. Esses mecanismos legais buscam viabilizar o acesso a essa e às outras vertentes que integram os objetivos do saneamento básico. Nesse sentido, através de intervenções de engenharia – que vão desde o aperfeiçoamento da infraestrutura drenante, até a destinação final dessas águas - o artigo 2º, inciso IV, da Lei nº 11.445/2007 determina que haja:

“IV - Disponibilidade, nas áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, tratamento, limpeza e fiscalização preventiva das redes, adequados à saúde pública, à proteção do meio ambiente e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;” (BRASIL, LEI 14.026/2020).

Reitera-se, as diretrizes nacionais acerca do saneamento básico se subdividem em quatro grandes áreas: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e, por fim, drenagem e manejo das águas pluviais (BRASIL, LEI 14.026/2020).

As atividades que envolvem, inicialmente, a captação, passando pelas instalações prediais e que culminam no fornecimento de água são aquelas oriundas do abastecimento de água potável. Já o esgotamento sanitário, perpassa pelas operações de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos efluentes dos usuários (BRASIL, LEI 14.026/2020).

Nessa perspectiva, há, também, o viés voltado aos resíduos sólidos, bem como a limpeza urbana, que se distingue das demais vertentes do saneamento básico por envolver, por exemplo, a varrição manual ou mecânica dos espaços públicos, além de conservá-los através da higienização dos ambientes comunitários (BRASIL, LEI 14.026/2020).

Em se tratando do tema deste artigo, a drenagem e manejo das águas pluviais está associada aos aspectos - conforme determina a (BRASIL, LEI 14.026/2020, p.7) – “(...) de drenagem de águas pluviais, transporte, detenção ou retenção para amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes”.

Os avanços na infraestrutura de diversos países não acompanharam a evolução populacional desordenada ocorrida em meados do século passado, sobretudo nos menos desenvolvidos. Como consequência da falta de planejamento, as cidades se estabeleceram às margens de rios e se expandiram ao redor deles sem uma legislação definida. Essa situação, associada à impermeabilização de áreas, outrora permeáveis, permanece contribuindo para eventos de enchentes e inundações, sendo que tais ocorrências tomam grandes proporções, principalmente em locais densamente habitados. Isso se deve à ineficiência dos mecanismos de drenagem urbana existentes e ao ambiente impermeabilizado, de modo que, após uma volumosa precipitação, a água não consegue se infiltrar e, por fim, ocorre o escoamento superficial (TUCCI, 2003).

Dispositivos de drenagem atuais

Segundo o DNIT (2006), existem as seguintes formas de drenar as águas pluviais das pistas de rolamento: a drenagem de transposição de talvegues, a drenagem superficial, a drenagem de pavimento, a drenagem subterrânea ou profunda e a drenagem de travessia urbana.

É no contexto da drenagem de travessia urbana que a boca de lobo – elemento central deste trabalho - bem como a sarjeta, poço de visita, galerias e estruturas especiais são implementados. Nessa perspectiva, conforme DNIT (2006), as bocas de lobos podem ser classificadas em simples (Figuras 1 e 2), com grelhas (Figuras 3 e 4) ou uma combinação de ambas (Figuras 5 e 6).

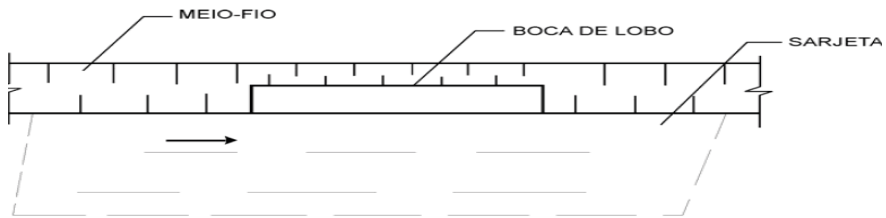


Figura 1 – Modelo de Boca de lobo simples

Fonte: DNIT, 2006.



Figura 2 –Boca de lobo simples

Fonte: Portal Itu, 2016.

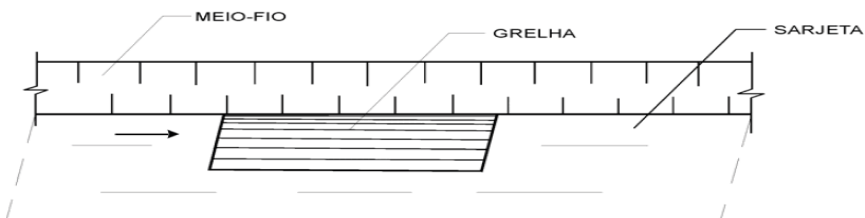


Figura 3 – Modelo de Boca de lobo com grelha

Fonte: DNIT, 2006.



Figura 4 - Boca de lobo com grelha

Fonte: Ebanataw, 2021.

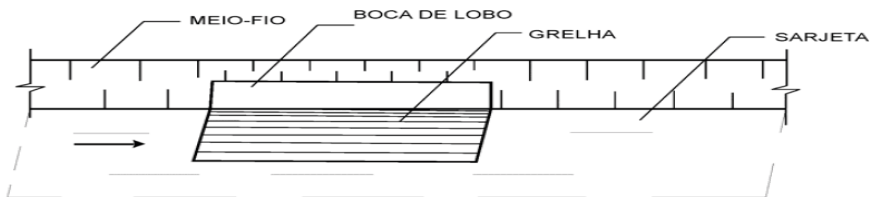


Figura 5 – Modelo de Boca de lobo combinada

Fonte: DNIT, 2006.



Figura 6 - Boca de lobo combinada

Fonte: Concrealfa, 2017.

Características das bocas de lobo

Segundo DNIT (2004, p. 2) as bocas de lobos são conceituadas da seguinte maneira:

“Dispositivos de captação, localizados junto aos bordos dos acostamentos ou meios-fios da malha viária urbana que, através de ramais, transferem os deflúvios para as galerias ou outros coletores. Por se situarem em área urbana, por razões de segurança, são capeados por grelhas metálicas ou de concreto”.

Ademais, esse dispositivo deve ser executado e instalado sobre um revestimento de concreto com resistência característica mínima ($f_{ck, \min}$), de 15 MPa. Suas paredes poderão ser construídas tanto de bloco de concreto, quanto de alvenaria de tijolos maciços, uma cinta de concreto com a mesma resistência característica mínima, mencionada anteriormente, deve ser implementada para servir de base para o assentamento de grelha. Caso essa tampa (grelha) seja de concreto armado o $f_{ck, \min}$ deverá ser de 22 MPa. (DNIT, 2004).

No tocante à permeabilidade, o Portal do Projetista (2016) informa que as bocas de lobo convencionais possuem grelhas com coeficiente de permeabilidade de 85,00 mm/s, assim sendo, essa grandeza será objeto de comparação com os cenários obtidos neste experimento, para fins de constatação da eficiência drenante alcançada no presente trabalho.

Tipos de concreto

O concreto é o material mais utilizado na construção civil, esse composto é derivado da mistura de, pelo menos, um aglomerante hidráulico, no caso o cimento e, também, água, agregado graúdo e agregado miúdo, além de outros materiais que possam ser adicionados, tais como os aditivos. Uma mistura pastosa é formada após ser hidratado, que adere aos fragmentos agregados, formando uma mistura resistente de fácil moldagem, possuindo alta resistência a compressão, assim, quando endurecida, forma um bloco rígido se adequando as exigências necessárias. (MEHTA e MONTEIRO, 1994)

Existem vários tipos de concreto, cada um é projetado para atender a diferentes necessidades e condições específicas, dentre os principais pode-se citar:

- Concreto armado: possui barras de aço inseridas para aumentar a resistência flexão, tornando-o ideal para estruturas sujeitas a cargas elevadas, tais como lajes e vigas.
- Concreto convencional: é o tipo mais comum, composto por cimento, água, areia e brita. Devido à baixa trabalhabilidade desse concreto, é necessário uso de equipamentos agitadores para um bom adensamento. Esse concreto demanda uma quantidade grande de mão de obra, devido a sua aplicação manual (PORTAL DO CONCRETO, 2023).
- Concreto reforçado com fibras: contém fibras de aço ou polímero, o que reduz a fissuração, elevando a resistência à flexão, ao impacto, ao desgaste da superfície à abrasão. (SUPREMO CONCRETO, 2023).
- Concreto permeável: projetado para permitir a passagem de água, sendo utilizado em pavimentação para reduzir o escoamento superficial.

Adição de fibra de vidro

A incorporação de fibras de vidro no concreto permeável é uma técnica que pode melhorar sua resistência mecânica, sem comprometer sua permeabilidade. Quando são acrescentadas fibras ao concreto convencional, o material resultante passa a ser denominado de concreto reforçado com fibras (CFR). Segundo a classificação do *Bureau International pour la Standardisation des Fibres Artificielles (BISFA)*, as fibras podem ser de origem natural ou artificial.

As fibras de vidro podem ser definidas como materiais filamentosos, com razão entre comprimento e diâmetro, de no mínimo 100. Em que pese não existirem restrições acerca do diâmetro mínimo, o máximo não deve ultrapassar 0,25 mm. O mecanismo de constituição das fibras, que auxilia sua alta resistência à tração, está ligado a melhor atração de suas partículas (SCHWARTZ, 1984).

De acordo com Hollaway (1993) as características preponderantes das fibras utilizadas na fabricação de compósitos são: a alta resistência e módulo de elasticidade, uniformidade no valor de resistência de fibras individuais, estabilidade e manutenção das propriedades durante manuseio e a baixa variação de diâmetros entre os filamentos e rugosidade superficial.

Conforme Figueiredo (2011), as fibras que possuem módulo de elasticidade menor que o do concreto endurecido, são denominadas de fibras de baixo módulo. Já as fibras de alto módulo são aquelas que possuem o módulo de elasticidade maior que o do referido material. Para aplicações na construção civil, a fibra de vidro é considerada mais vantajosa, quando comparada às demais, por oferecer grande resistência a tração, elevado módulo de elasticidade e baixo custo de produção.

A fibra de vidro foi utilizada, neste experimento, a fim de se atingir resistências mecânicas para suportar eventual tráfego de veículos nas sarjetas e bocas de lobo.

Para Figueiredo (2011), a eficiência da fibra está relacionada ao seu desempenho como ponte de transferência de tensões na fissura do concreto, uma fissura irá proporcionar uma barreira à propagação de tração, isso se dá pelas linhas de tensão que implica uma concentração nas fissuras.

Com a utilização de fibras, espera-se obter uma menor fissuração do concreto. (MINDESS, 1995).

Uma das características do reforço obtido com as fibras é o fato delas se distribuírem aleatoriamente no material, fortalecendo a peça como um todo, e não um determinado alinhamento, como ocorre com as armaduras convencionais utilizadas no concreto armado (FIGUEIREDO, 2011).

METODOLOGIA

Dentre as diversas propriedades mecânicas do concreto pode-se ressaltar a resistência à compressão axial simples e a resistência à tração por compressão diametral. Essas propriedades são determinadas a partir de ensaios específicos conforme a respectiva norma, estes ensaios são para especificação e controle de qualidade para aplicação. (PINHEIRO, 2004).

Experimento

A pesquisa experimental tem como objetivo ensaiar o revestimento permeável, através da modelagem corpos de provas, verificando a resistência do concreto à compressão axial simples e seu coeficiente de permeabilidade para aplicá-lo na confecção de tampas de boca de lobo. Foi adotado os procedimentos da ABNT NBR 16416 Anexo A

Materiais

Os materiais utilizados na pesquisa foram o cimento CPV-ARI da marca Holcim, agregados graúdos (brita 0 e brita 1), agregado miúdo (areia média) oriundos da Martins Lanna Mineração. Além disso, utilizou-se a fibra de vidro CSM – Fibra Picadas CS 405B 6,4 mm.

O traço de referência para o concreto permeável utilizado na montagem da peça foi 1:3: 1,3:0,5 (traço em massa). Além disso, utilizou-se um fator água/cimento de 0,4.

Traços				
Material	Traço 1	Traço 2	Traço 3	Traço de Referência
Cimento (Kg)	1	1	1	1
Brita 1 (Kg)	3	3	3	3
Brita 0 (Kg)	1,3	1,3	1,3	1,3
Areia Média (Kg)	0,5	0,5	0,5	0,5
Fator a/c	0,4	0,4	0,4	0,4
Fibras (g/dm ³)	1	5	10	0

Tabela 1 – Traços utilizados

Fonte: Próprios autores (2023)

Por fim, a diferença obtida em cada traço foi definida em função da quantidade de fibra de vidro por decímetro cúbico de material, inserida no concreto.

Método

O procedimento para a preparação do concreto se deu conforme a ABNT NBR 12821: Preparação de concreto em laboratório – Procedimento.

A confecção dos corpos de prova foi executada em conformidade à ABNT NBR 5738 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, no tocante aos ensaios de compressão axial foram seguidos os procedimentos previstos na ABNT NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.



Figura 7 – Adensamento do concreto

Fonte: Próprio autor (2023)



Figura 8 – Confeção do concreto

Fonte: Próprio autor (2023)



Figura 9 – Ensaio de resistência à compressão axial
Fonte: Próprio autor (2023)



Figura 10 - Ruptura do corpo de prova
Fonte: Próprio autor (2023)

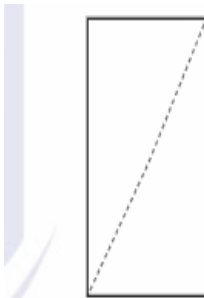


Figura A.5 – Tipo E –
Cisalhada

Figura 11 – Ruptura Cisalhada
Fonte: NBR 5739:2018



Figura 12 – Corpo de prova cisalhado
Fonte: Próprio autor (2023)

O ensaio de permeabilidade se deu conforme a ABNT NBR 16416 Anexo A – Determinação do coeficiente de permeabilidade de pavimento permeável.

Caracterização

Os ensaios foram realizados no laboratório do Centro Universitário Newton Paiva de modo a atender aos requisitos normativos existentes nas retromencionadas normas.

O ensaio do coeficiente de permeabilidade foi realizado em conformidade à ABNT NBR 16416 anexo A, sendo que esse anexo tem como objetivo medir a permeabilidade do pavimento permeável podendo ser utilizado em campo ou no laboratório. Conforme o item A.2 da referida norma, a execução consiste em utilizar uma forma circular, de área determinada de (150 ± 10) mm e altura mínima de 50 mm, o cilindro tem duas linhas de referência com distância de 10 mm a 15 mm em relação a face da inferior do anel, o material deve ter rigidez suficiente para não se deformar. Aplica-se, no anel, um material de vedação na interface entre este e a superfície do pavimento drenante a ser analisado. Após umedecer, previamente, o corpo de prova, a ser testado, a massa de água é despejada na forma e o tempo de infiltração do volume total despejado é cronometrado. A coeficiente de permeabilidade é calculado, em função do tempo (s), através da seguinte fórmula:

$$k = \frac{C.M}{D^2.T}$$

Onde:

K = taxa de infiltração (mm/h)

C = 4.585.666.000 - valor constante

M = massa da água (kg)

D = diâmetro da estrutura circular adotada (mm)

T = tempo que a massa de água leva para ser infiltrada (s)

Utilizou-se 18 kg de massa de água para despejar sobre a placa de concreto permeável a fim de determinar a taxa de infiltração da água, neste cenário, realizou-se três ensaios em cada anel.



Figura 13 – Ensaio do coeficiente de permeabilidade

Fonte: Próprio autor (2023)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Rompimento à compressão (MPa)				
ENSAIO	REFERÊNCIA	TRAÇO 1	TRAÇO 2	TRAÇO 3
1º Rompimento	12,34	6,95	13,41	18,17
2º Rompimento	13,21	11,77	14,73	12,16

Quadro 1 – Ensaio de resistência à compressão axial

Fonte: Próprio autor (2023)

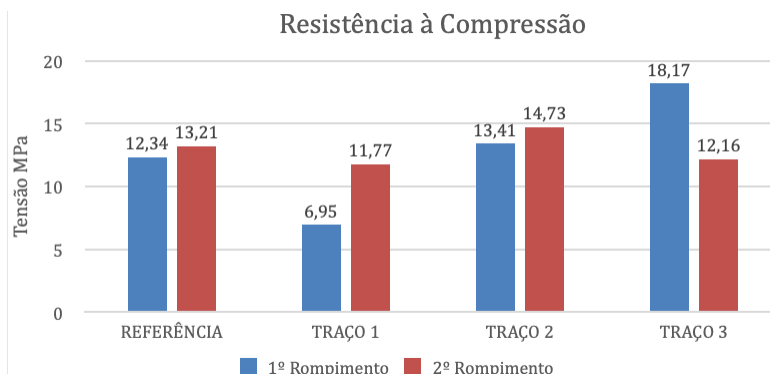


Tabela 2 – Ensaio de resistência à compressão axial

Fonte: Próprio autor (2023)

ENSAIO DO COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE				
ENSAIO	DIÂMETRO (mm)	MASSA ÁGUA (Kg)	TEMPO (s)	TAXA INFILTRAÇÃO (mm/s)
1	150,00	18,00	147,87	6,891
2	150,00	18,00	150,32	6,779
3	150,00	18,00	152,79	6,670
4	150,00	18,00	137,37	7,418
5	150,00	18,00	137,97	7,386
6	150,00	18,00	138,58	7,353

Quadro 2 – Ensaio de permeabilidade

Fonte: Próprio autor (2023)

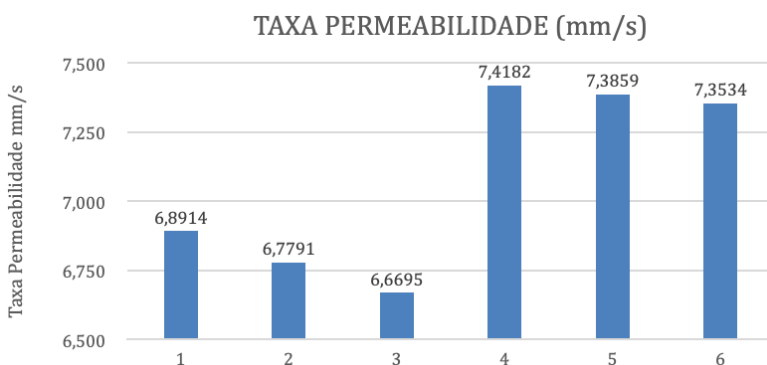


Tabela 3 – Ensaio de permeabilidade

Fonte: Próprio autor (2023)

O resultado do ensaio de coeficiente de permeabilidade é dado em milímetros por segundo (mm/s), dessa forma é possível calcularmos o volume de água passante em um dado período para qualquer tamanho de área.

CONCLUSÃO

Após obtenção dos resultados do ensaio de resistência à compressão do concreto permeável confeccionado neste experimento, não foram alcançados valores de resistência à compressão em atendimento ao valor recomendado pelo DNIT (22,0 MPa). Verificou-se que nos cenários Traço 2 e Traço 3, o aumento de resistência esperado pela adição de fibras de vidro, em relação ao cenário Traço de Referência, foi constatado em pelo menos, um dos CP's. Já no cenário Traço 1, as resistências à compressão obtidas foram inferiores ao cenário Traço de Referência, mesmo com a adição de fibras de vidro. Analisando-se, especificamente o cenário traço 1, é possível que a obtenção de resultados de resistência à compressão inferiores ao cenário de referência, tenha sido resultante de inconformidade na realização do adensamento dos corpos de prova deste traço.

Analisando-se o ensaio de permeabilidade, apesar de terem sido constatados resultados positivos de infiltração, o que demonstra a capacidade drenante do concreto, a maior vazão total obtida no experimento 7,42 mm/s não se equipara a vazão total obtida pelas tampas de boca de lobo atualmente utilizadas com 85,00 mm/s, conforme citado anteriormente.

Ressalte-se, ainda, que o revestimento permeável tende a ter sua taxa de infiltração reduzida, com o passar do tempo, devido ao possível acúmulo de partículas nos vazios do concreto permeável.

Considerando os aspectos supracitados, conclui-se que, para a viabilidade de utilização da solução proposta com os materiais e tecnologias atuais seria necessária uma área maior que o padrão atual para que se tenha a mesma eficiência. É possível, entretanto, a utilização da referida solução é possível em outras aplicações que não recebam grandes cargas, tais como passeios e áreas onde não haja tráfego de veículos pesados.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 12821: Preparação de concreto em laboratório** - Procedimento. Rio de Janeiro, 2009. Acesso em 08 ago. 2023.

ABNT. **NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto** – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015. Acesso em 04 nov. 2023.

ABNT. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994. Acesso em 08 ago. 2023.

ABNT. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018. Acesso em 08 ago. 2023.

BRASIL. **Lei nº 11.445**, de 05 de janeiro de 2007. Brasília, DF, [2007]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm Acesso em 05 ago. 2023.

BRASIL. **Lei nº 14.026**, de 15 de julho de 2020. Brasília, DF, [2020]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/14026.htm Acesso em 26 nov. 2023.

Bureau International pour la Standardisation des Fibres Artificielles. **Terminology of man-made fibres**. 2009. Acesso em 24 out. 2023.

CEZAR, J. F. V. **Concreto permeável com incorporação de fibra de polipropileno para melhoramento da resistência à flexão**. 34p. Ijuí, RS. 2019. Acesso em 24 out. 2023

COTIDIANO ITU. **Portal Itu**. Disponível em: <<https://www.itu.com.br/cotidiano/noticia/boca-de-lobo-e-ampliada-no-parque-nossa-senhora-da-candelaria-20160113>>. Acesso em 24 out. 2023.

CONCREALFA. **Artefatos de concreto**. Disponível em: <<https://concrealfa.com.br/grelha.html>>. Acesso em 24 out. 2023.

DNIT, **Manual de drenagem de rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ. Ed. Instituto de Pesquisas Rodoviárias do DNIT, 2006. 13, 15, 16, 17, 282, 283p. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-demanuais/vigentes/724_manual_drenagem_rodovias.pdf> Acesso em 29 out. 2023.

DNIT, **Drenagem – Dispositivos de drenagem pluvial urbana**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ. Ed. Instituto de Pesquisas Rodoviárias do DNIT, 2004. 2, 4, 7p. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_030_2004_es.pdf> Acesso em 29 out. 2023.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. Tese (Livre-Docência). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 248p. São Paulo, 2011. Acesso em 29 out. 2023.

HOLLAWAY, L. C.; LEEMING, M. B. **Strengthening of reinforced concrete structures using externally bonded FRP composites in structural and civil engineering**. 1ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 1999. Acesso em 29 out. 2023.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994, p.01-02. Acesso em 02 nov. 2023.

MINDESS, S. Fibre reinforced concrete: **Challenges and prospects**. In: Second University-Industry Workshop on Fiber Reinforced Concrete and Other Advanced Materials. Toronto, Canada, 1995. Acesso em 02 nov. 2023.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. **Estruturas de Concreto**. Unicamp. Campinas, SP. 2004. Capítulo 2. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>. Acesso em 02 nov. 2023.

PORTAL DO PROJETISTA. Disponível em: <<https://portaldoprojetista.com.br/dimensionamento-de-boca-de-lobo-para-drenagem-urbana/>>. Acesso em 15 nov. 2023.

PORTAL EBANATAW. Disponível em: <<https://www.ebanataw.com.br/drenagem/bocadelobo.htm>> Acesso em 02 nov. 2023.

SABENDO UM POUCO MAIS SOBRE CONCRETO. Portal do concreto. Disponível em: <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/tipos.html>>. Acesso em 24 out. 2023.

SCHWARTZ, M. M. **Composite materials handbook**. New York: McGraw-Hill, 1984. Acesso em 02 nov. 2023.

TIPOS DE CONCRETO E SUAS APLICAÇÕES. **Supremo concreto**. Disponível em: <www.supremocimento.com.br>. Acesso em 24 out. 2023.

TUCCI, Juan Carlos; BERTONI, Juan Carlos. **Inundações urbanas na américa do sul**. 1ª ed. Porto Alegre, RS. 2003. 7, 25, 55p. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Juan-Bertoni/publication/266883894_INUNDACOES_URBANAS_NA_AMERICA_DO_SUL/links/56b352cd08ae3d06a26644e2/INUNDACOES-URBANAS-NA-AMERICA-DO-SUL.pdf. Acesso em 05 ago. 2023.

PISO MISTO DE PEQUENA ALTURA: UMA REVISÃO DA LITERATURA SOBRE AS TIPOLOGIAS

Data de aceite: 26/08/2024

Tainá Mascarenhas Borghi

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos
São Carlos – São Paulo
<https://orcid.org/0000-0002-7139-8541>

Ana Lúcia Homce de Cresce El Debs

Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos
São Carlos – São Paulo
<https://orcid.org/0000-0001-6359-7674>

RESUMO: Os componentes mistos convencionais já estão consolidados na construção, abrindo espaço para outros elementos estruturais, como é o caso do piso misto de pequena altura, também conhecido como *slim floor*. Esse sistema é composto por vigas de aço e lajes de concreto ou mistas, com a finalidade de reduzir a altura total do piso, através da introdução da laje na altura da viga. Existem muitas combinações possíveis para compor o *slim floor*, podendo variar tanto o tipo de laje empregado, quanto o perfil de aço ou o tipo de conectores de cisalhamento. Nesse sentido, muitas são as tipologias encontradas na literatura, principalmente em relação à variedade das seções da viga. Dessa forma, o presente capítulo, que é um

recorte da dissertação da primeira autora (Borghi, 2020), busca mapear as produções sobre as tipologias do piso misto de pequena altura, de modo a divulgar as tipologias existentes e verificar em quais situações se aplicam melhor. Assim, as informações obtidas nesse estudo colaboram para a ampliação do conhecimento e sua disseminação na comunidade científica e técnica, cooperando com a maior utilização desse sistema estrutural.

PALAVRAS-CHAVE: Piso misto de pequena altura. Tipologias. Revisão da literatura.

SLIM FLOOR: A LITERATURE REVIEW ABOUT THE TYPOLOGIES

ABSTRACT: Conventional composite structures are already well-established in construction, paving the way for other structural elements, such as the slim floor. This system consists of steel beams and concrete or composite slabs, aiming to reduce the total floor height by integrating the slab into the beam height. There are many possible combinations to compose the slim floor, with variations in the type of slab used, the steel profile, or the type of shear connectors. In this context, numerous

typologies are found in the literature, especially concerning the variety of beam sections. Therefore, this chapter, which is an excerpt from the first author's master's thesis (Borghi, 2020), aims to map the research on the typologies of slim floor, to publicize the existing typologies, and to identify the situations in which they are best applied. Thus, the information obtained in this study contributes to the expansion of knowledge and its dissemination to the scientific and technical community, promoting greater use of this structural system.

KEYWORDS: Slim floor. Typologies. Literature review.

INTRODUÇÃO

As estruturas mistas de aço e concreto se caracterizam pela união entre perfis de aço e o concreto, beneficiando-se das qualidades desses materiais, tanto relativos a capacidade resistente, quanto à aspectos construtivos, funcionais e estéticos. Assim, além de aproveitar de maneira eficiente a resistência do aço à tração e do concreto à compressão, outras vantagens dessa junção podem ser citadas, como redução do peso próprio do sistema, capacidade de vencer grandes vãos sem a necessidade de escoramento, atenuação de instabilidades e maior proteção contra o fogo e a corrosão, quando comparado à estruturas de concreto armado ou de aço.

Os estudos sobre estruturas mistas já estão bastante difundidos no Brasil e no mundo. A norma brasileira ABNT NBR 8800 “Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios” (2008), aborda esse tipo estrutural em seus anexos O, P, Q e R, trazendo o dimensionamento e execução de elementos mistos sujeitos à flexão. Atualmente, os componentes abordados nessa norma são as vigas, lajes e pilares mistos, além das ligações.

Assim, estruturas inovadoras surgem, como o piso misto de pequena altura, também conhecido como *slim floor*, o qual tem o intuito de reduzir a altura total do sistema, através do acoplamento da laje de concreto ou mista na altura da viga de aço, sendo apoiada na mesa inferior da viga.

Algumas características desse sistema atribuem a ele vantagens únicas. O sistema apresenta um aumento da rigidez, da resistência ao fogo e às instabilidades locais da seção de aço, devido à viga de aço estar revestida pelo concreto (De Nardin; El Debs, 2008). Além disso, Bailey (1999) destaca que o *slim floor* permite um ótimo nivelamento do piso, ajudando na fixação das instalações de serviços e economizando no revestimento.

Outras vantagens também podem ser citadas, como aumento da capacidade resistente; economia de material contribuindo com a ideia de construção sustentável; redução da mão de obra e do número de vigas secundárias; velocidade na construção; segurança e atendimento das demandas arquitetônicas modernas (Mullet, 1992). Porém, apesar das vantagens descritas, o piso misto de pequena altura exige um maior volume de concreto e reduz o momento de inércia, sendo necessário perfis mais pesados e maior peso próprio total, quando comparado ao piso misto convencional (Rocha, 2012).

Apesar de ser composto basicamente por vigas de aço e lajes de concreto, o *slim floor* consegue ter uma grande versatilidade, combinando diferentes características. Além de ser possível variar o tipo de laje empregada e o tipo de conector de cisalhamento, o sistema *slim floor* permite também a variação da viga. A partir dessa variação, muitas tipologias são estudadas mundialmente, sendo apresentadas no tópico a seguir.

Como ficou evidente, o *slim floor* se mostra bastante atrativo, devido às suas vantagens construtivas e econômicas, e pesquisadores ao redor do mundo investem no estudo desse sistema estrutural. Assim, o presente capítulo, que é um recorte da dissertação da primeira autora (Borghì, 2020), busca mapear as produções sobre as tipologias do piso misto de pequena altura, de modo a divulgar as tipologias existentes e verificar em quais situações se aplicam melhor. Assim, as informações obtidas nesse estudo colaboram para a ampliação do conhecimento e sua disseminação na comunidade científica e técnica, cooperando com a maior utilização desse sistema estrutural.

TIPOLOGIAS DO PISO MISTO DE PEQUENA ALTURA

Por volta de 1790, a primeira forma de *slim floor* foi utilizada em um sistema que se denominava *jack-arch floor*. Era composto por arcos de blocos cerâmicos, apoiados nas mesas das vigas de ferro fundido e recobertos com concreto (Bailey, 1999). Logo depois, no século XIX, registra-se a utilização do *filler joist* (ou *joist concrete*), um sistema *slim floor* que utilizava vigas de aço espaçadas de 0,6 a 1,2 m, sendo posteriormente revestidas com concreto, que deveria ficar abaixo da mesa inferior da viga (Bailey, 1999). Porém, essas ações foram pontuais, sem estudos registrados e considerados somente para fins históricos.

O estudo do piso misto de pequena altura teve início em meados da década de 70, com os pesquisadores do *Swedish Institute of Steel Construction*. A partir da década de 80, os países nórdicos (Noruega, Finlândia, Dinamarca, Suécia e Islândia) foram responsáveis pela difusão desse sistema, causando um grande crescimento na indústria metálica, principalmente devido ao uso da viga *Hat beam* (Lawson; Mullet; Rackham, 1997). Segundo Mullet (1992), a viga *Hat beam* era originalmente formada pela soldadura de quatro chapas de aço, duas verticais e duas horizontais, como é possível identificar na Figura 1(a).

As formas mais usuais das derivações da *Hat beam* eram constituídas por perfis T. O primeiro tipo é composto por duas seções T soldadas pela mesa, com uma chapa de aço soldada horizontalmente às almas dos perfis, como mostrado na Figura 1(b). A segunda variação da viga *Hat beam* é constituída por 3 seções T, soldadas entre si (Figura 1(c)). O modelo da seção da viga da Figura 1(d) difere das demais por utilizar um perfil tipo I (*universal column*), soldado à duas chapas, uma no topo e outra por baixo.

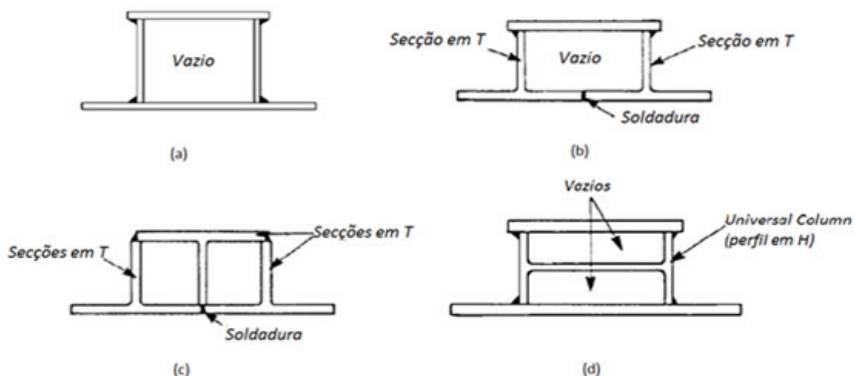


Figura 1: Variações *Hat beam*

Fonte: Adaptado de Mullet, 1992

Outro modelo de seção de viga que foi bastante usado no final do século XX, foi a *Thor-beam*, comercializada pela empresa *ConstrucThor*, a qual consiste na utilização de duas seções U soldadas à uma chapa nas mesas inferiores. Nas mesas superiores são soldadas chapas menores e uma cantoneira, que funcionam como conectores de cisalhamento. Na Figura 2(a) podemos entender melhor a disposição das peças. Além desses modelos, Mullet (1992) também aborda uma seção de viga composta apenas por um perfil tipo I, como visto na Figura 2(b), no qual a laje é apoiada na mesa inferior. Porém esse tipo de seção apresenta dificuldade ao encaixar a laje pré-moldada, sendo necessário efetuar recortes na laje ou na viga.

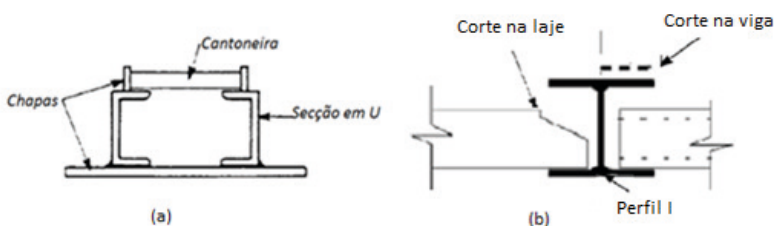


Figura 2: *Thor-beam* e *Universal column*

Fonte: Adaptado de Mullet, 1992

Devido à grande utilização do piso misto de pequena altura nos países nórdicos, a *British Steel* (atual *Tata Steel*) e o *Steel Construction Institute* (SCI) desenvolveram conjuntamente um estudo para avaliar a capacidade resistente deste sistema e suas características. A partir desse estudo, um novo tipo de viga de aço para ser utilizada no sistema *slim floor* foi criado, denominado *Slimflor Fabricated Beam* (SFB). Essa viga consiste em um perfil laminado tipo I soldado à uma chapa de aço maior pela mesa inferior (Mullet, 1992), conforme mostrado na Figura 3(a). Alguns anos depois, em 1997, essas instituições

apresentaram um novo perfil laminado, denominado *Asymmetric Slimflor Beam* (ASB). Um perfil assimétrico, com a mesa inferior maior que a superior e que contém ranhuras na face externa da mesa superior - Figura 3(b).

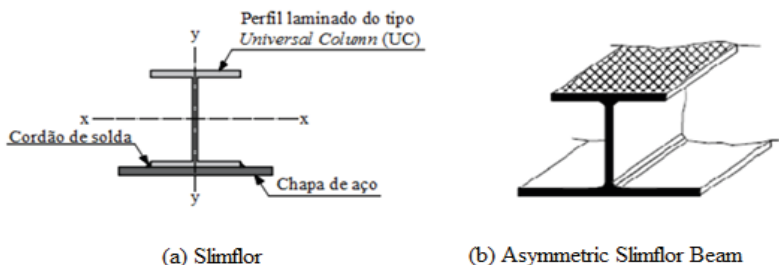


Figura 3: *Slimflor*

Fonte: Adaptado de Paes, 2003

Contemporaneamente ao sistema ASB, a *British Steel* apresenta uma solução complementar a esses perfis de aço, o *Slimdek*®. É um sistema composto por um perfil de aço assimétrico, podendo ser o ASB ou o SFB, em conjunto com uma laje com forma de aço incorporada, do tipo trapezoidal (Barros, 2011), como visto na Figura 4. Como vantagens, está a redução do peso próprio, a melhoria do isolamento térmico e acústico e a possibilidade de se utilizar o espaço entre nervuras da laje para a passagem de instalações de serviço.

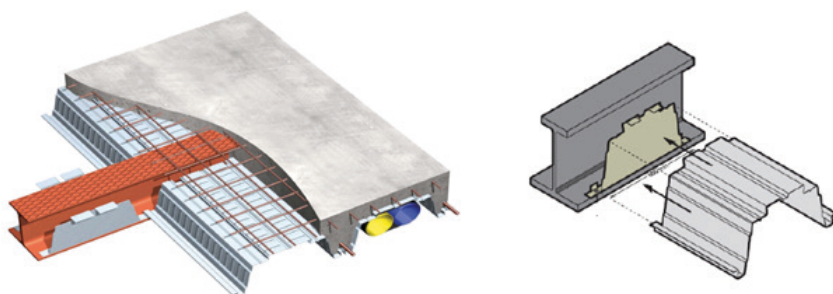


Figura 4: *Slimdek*® e vedação da laje-viga

Fonte: Limazie e Chen, 2015; Barros, 2011

A partir da *Thor-beam* começa-se a utilizar o preenchimento do interior da viga com concreto para garantir maior rigidez, sendo essa técnica aprimorada em meados dos anos 90 com o surgimento da *Deltabeam*®. Essa tipologia foi desenvolvida na Finlândia pela empresa *Peikko* (Nádaský, 2012), e consiste em uma viga com 4 chapas de aço soldadas entre si e com aberturas na alma, como mostrado na Figura 5.

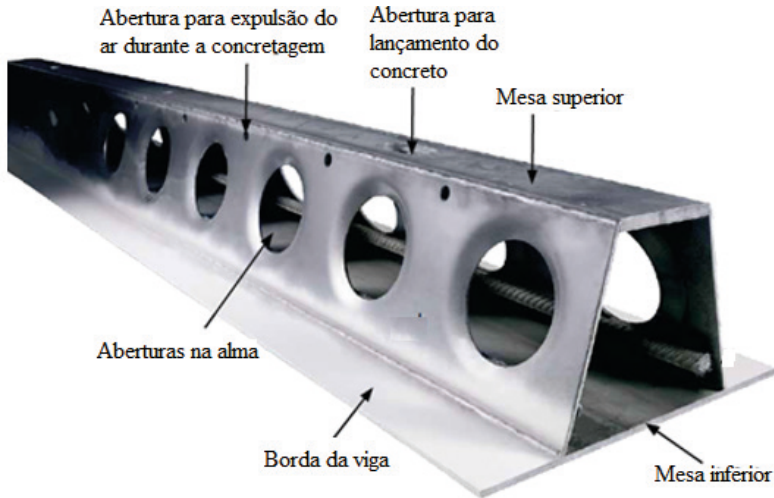


Figura 5: *Deltabeam®*

Fonte: Adaptado de Peikko, 2014

Também no início dos anos 90, a companhia siderúrgica ARBED (atual grupo *ArcelorMittal*) começou a desenvolver um novo perfil para o *slim floor*: o *Integrated Floor Beam* (IFB). Esse perfil é produzido através de um corte ao meio no perfil I, formando uma seção T e, de acordo com seu processo de fabricação, pode ser dividido em tipo A ou B. No tipo A, a seção T formada é soldada a uma chapa com largura maior que a mesa do perfil original (Figura 6(a)) e, no perfil tipo B, solda-se à alma uma chapa com largura inferior à da mesa do perfil, como visto na Figura 6(b) (Barros, 2011).

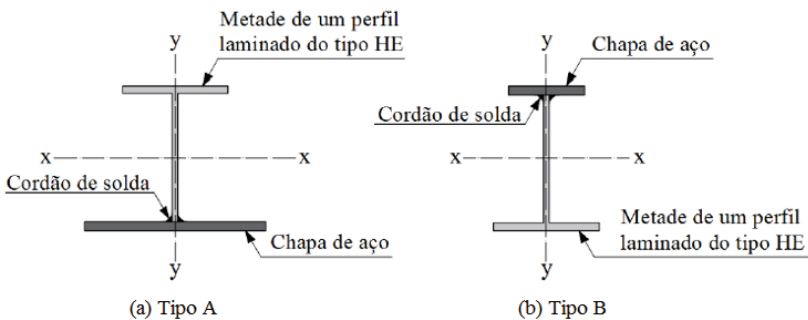


Figura 6: *Integrated Floor Beam*

Fonte: Adaptado de Paes, 2003

A introdução de vigas I com aberturas na alma foi estudada pela *Universität Stuttgart* (Alemanha) em parceria com a *ArcelorMittal*, desde 2009, desenvolvendo o *Composite Slim-Floor Beam (CoSFB)*. É um sistema que pode ser formado por vigas tipo IFB ou SFB, com o diferencial de possuir pequenas aberturas circulares no topo da alma, como visto na Figura 7. Essas aberturas possibilitam a passagem de barras de aço, que funcionam como conectores de cisalhamento, desenvolvendo a ação mista da estrutura (Kuhlmann, 2012). Na Figura 7(b), é possível ver uma aplicação da CoSFB, no edifício *Dillingen a.d. Donau*, na Alemanha.

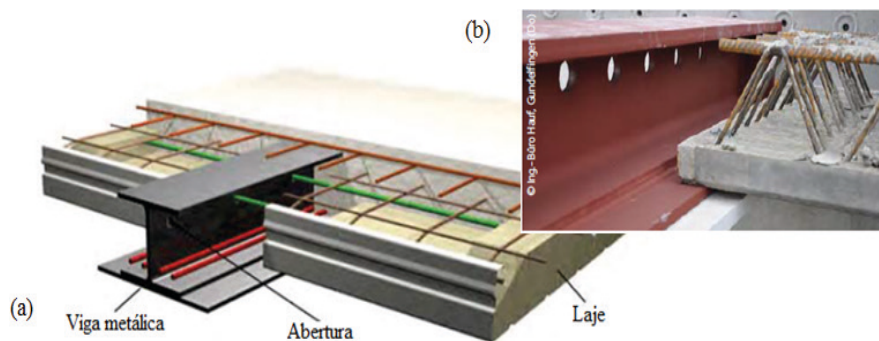


Figura 7: *Composite Slim-Floor Beam (CoSFB)*

Fonte: Adaptado de ArcelorMittal, 2017

Outra tipologia de viga utilizada no sistema *slim floor*, foi desenvolvida nos Estados Unidos pela empresa *Girder-Slab Technologies*, que consiste em um perfil de aço castelado (aberturas hexagonais), cortado ao meio e soldado à uma chapa de aço, que funciona como a mesa superior. Esse perfil se denomina *D-beam* e é visto na Figura 8, assim como o sistema em fase de construção, com a aplicação da laje.



Figura 8: *D-beam*

Fonte: Girder-Slab Technologies, 2015

Ju et. al (2005) apresentam outro tipo de sistema *slim floor*, utilizado na Coréia do Sul: o *iTECH system*. O perfil de aço utilizado é igual ao *Girder-Slab System*, porém é adicionado um perfil U, também de aço, apoiado nas mesas inferiores do perfil I (Figura 9) para sustentar as lajes durante a fase de construção, não tendo função estrutural no sistema. O concreto passa através das aberturas, assim como armaduras, garantindo a ação mista, sem utilizar conectores de cisalhamento.

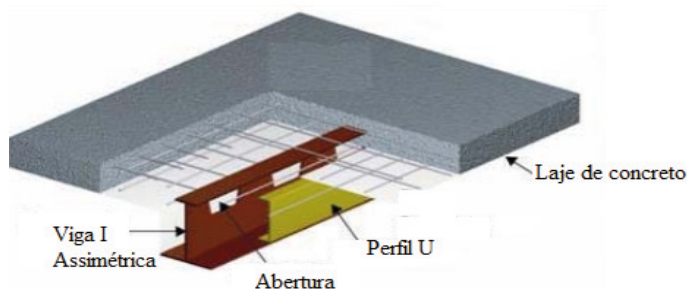


Figura 9: *iTECH system*

Fonte: Ju et. al, 2005

Seguindo a ideia de inovadoras formas de garantir o comportamento conjunto, a *Shallow Cellular Composite Floor Beam (SCCFB)* é um sistema fabricado pela soldagem de duas seções T assimétricas, com a mesa inferior maior que a superior, aberturas circulares ao longo da alma e a utilização de barras de aço que passam entre as aberturas, exercendo a função de conectores de cisalhamento (Figura 10).

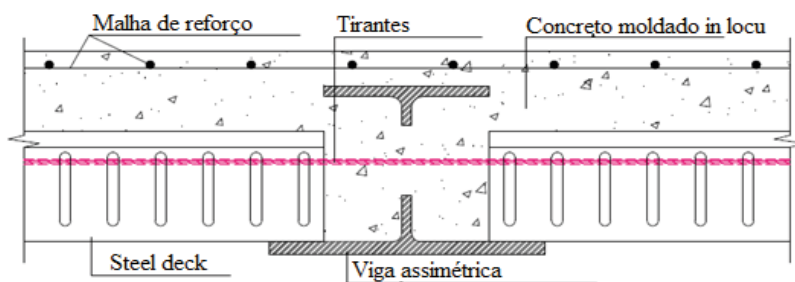


Figura 10: *Shallow Cellular Composite Floor Beam (SCCFB)*

Fonte: Limazie e Chen, 2015

Outro trabalho foi proposto por Derysz, Lewinski e Wiech (2017): se trata de uma seção de aço formada pela soldagem de dois perfis “T” invertidos, com pequenas aberturas superiores, preenchida internamente com concreto moldado in loco e com uma laje pré-fabricada apoiada nas mesas dos T. Para garantir o comportamento misto, foram usados pinos soldados às almas dos perfis, armadura longitudinal na parte interna da viga e barras de reforço que passam pelas aberturas do perfil de aço, como mostrado na Figura 11.

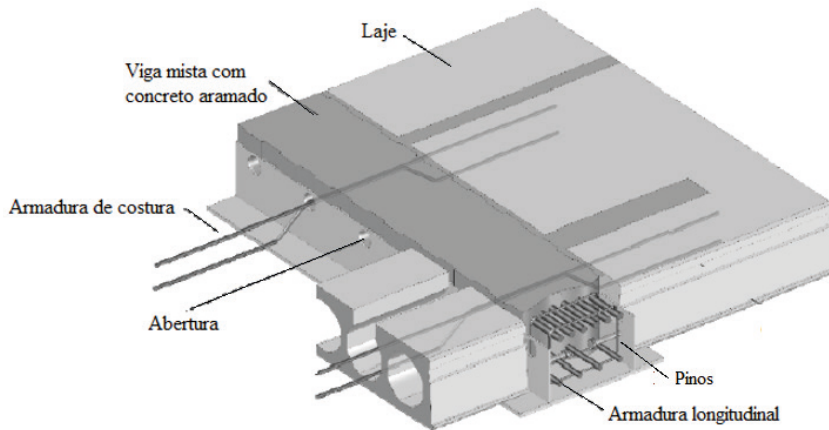


Figura 11: Tipologia estudada por Derysz, Lewinski e Wiech (2017)

Fonte: Adaptado de Derysz, Lewinski e Wiech, 2017

A seguir é apresentada a revisão da literatura sobre as tipologias apresentadas anteriormente.

REVISÃO DA LITERATURA

Os principais estudos sobre pisos mistos de pequena altura iniciaram-se com as pesquisas de Mullet (1992), que objetivaram apresentar um método de projeto, de acordo com a BS 5950 (1982), para o *slim floor*. Em seguida, Mullet e Lawson (1993), publicaram critérios de dimensionamento para a nova tipologia que estava sendo lançada, a *Slimflor*, em conjunto com o perfil de aço perfilado com fôrma de aço incorporada (*steel deck*). Esse trabalho, publicado pelo *Steel Construction Institute* (SCI), apresentou uma avaliação experimental para basear o método de projeto proposto, trazendo exemplos de aplicação.

A pesquisa de Mullet foi estendida com o estudo experimental da *Asymmetric Slimflor Beam* (ASB), usando laje com fôrma de aço incorporada (*Slimdek*®). Esse estudo, de Lawson, Mullett e Rackham (1997), permitiu elaborar um procedimento analítico para essa estrutura baseado na norma britânica BS 5950 (1982).

Contemporaneamente a esses trabalhos, Lu e Makelainen (1995) realizaram investigações de vigas preenchidas, com seções *Hatbeam* e *Deltabeam*®. Através de ensaios experimentais e análises paramétricas, avaliaram a posição dos conectores de cisalhamento e a contribuição da armadura transversal no comportamento misto de vigas *Hatbeam*, preenchidas com concreto, e a eficácia das bordas das aberturas serem curvas em vigas *Deltabeam*®. A partir desse estudo, foram obtidos resultados que indicaram que, para o perfil *Hatbeam*, é melhor posicionar os conectores na parte inferior, sendo a armadura capaz de reduzir o deslizamento da interface aço-concreto. Na seção *Deltabeam*®, foi possível observar que, para as bordas das aberturas curvas, a rigidez não apresentou grande alteração, se mantendo próxima da original.

O estudo de Bailey (1999) trouxe um grande aparato histórico dos pisos mistos de pequena altura e analisou o comportamento da tipologia *Asymmetric Slimflor Beam* (ASB) em situação de incêndio. Para isso, desenvolveu um *software* que previa o comportamento estrutural nessas condições, obtendo bons resultados de desempenho, comparativamente aos ensaios experimentais. Makelainen e Ma (2000) publicaram dois artigos sobre o mesmo tema e avaliaram o comportamento do ASB em situação de incêndio, através de uma análise numérica, mostrando que esse perfil apresenta boas condições sob essas circunstâncias.

Um grupo de pesquisadores da Coreia do Sul começou, por volta de 2003, uma pesquisa sobre a tipologia iTECH. A primeira publicação realizada por esse grupo diz respeito ao desempenho estrutural, em que foi analisado o comportamento de cisalhamento e flexão através de ensaio experimental, provando ser aceitável pelo Código de Projeto Estrutural Coreano (Ju et al., 2003). Ju et al. (2004) avaliaram o desempenho dinâmico desse elemento estrutural nas etapas de construção, também em um ensaio experimental, chegando à conclusão que ele satisfaz os critérios definidos em três códigos normativos diferentes. Outros artigos foram publicados em anos posteriores, que focaram no comportamento do iTECH quanto à resistência ao cisalhamento (Ju; Kim; Kim, 2005), à flexão (Ju; Chun; Kim, 2009) e ao comportamento dinâmico (Ju et al., 2008).

Rackham, Hicks e Newman (2006) desenvolveram uma publicação com orientações sobre a concepção do piso misto de pequena altura composto pelo perfil *Asymmetric Slimflor Beam* (ASB) e laje alveolar de concreto pré-fabricadas. Por meio de duas configurações distintas (Tipo 1 formado por seção sem capa de concreto e Tipo 2 por seção com capa de concreto), foi estabelecido um procedimento de cálculo, considerando todos os casos de carregamento durante as fases de construção e as verificações de projeto nos estados limites últimos e de serviço. Baseando-se na BS 5950 (2001) e em publicações existentes da SCI, foram feitas também verificações de instabilidades do perfil, cisalhamento, capacidade resistente à torção e à flexão.

Hegger et al. (2009) estudou o *slim floor* composto pelo perfil *Integrated Fabricated Beam* (IFB), avaliando a resistência ao cisalhamento desse sistema com lajes alveolares e os efeitos de condições de apoio, rígidas e flexíveis, nessa resistência. O estudo foi experimental, indicando que perfis esbeltos podem causar um decréscimo na resistência ao cisalhamento de 30 a 40%. Outros fatores, como a rigidez à flexão do perfil, o grau de conexão do piso misto e a seção transversal das lajes alveolares, também influenciaram nesse resultado. Verificou-se que o enchimento dos alvéolos com concreto moldado in loco não fez aumentar a resistência ao cisalhamento no sistema avaliado.

Uma nova conformação para a viga de aço, perfil assimétrico com aberturas na alma, foi apresentada inicialmente nas publicações da SCI (1997, 1999), e focada com mais detalhes por Lawson et al. (2006). Nesse trabalho, os autores propuseram um método de projeto levando em conta a assimetria e a existência de aberturas circulares, alongadas ou retangulares. Além disso, foram sugeridas equações simplificadas com base em estudos de campo e análise de elementos finitos. A partir desse trabalho o perfil assimétrico com aberturas na alma, denominado na época de "*Ultra Shallow Floor Beams* (USFB)", começou a ser estudado com mais intensidade.

Tsavidaridis, D'Mello e Hawes (2009) publicaram um estudo experimental sobre o mesmo perfil estudado por Lawson et al. (2006), para investigar a contribuição do concreto que passa entre as aberturas da viga nas forças de cisalhamento verticais. Concluiu-se que o concreto entre as aberturas aumenta a resistência, fornecendo um caminho de carga para transferir a força de cisalhamento. Huo, D'Mello e Tsavidaridis (2010) continuaram a pesquisa sobre o cisalhamento longitudinal do USFB e o efeito de conectores adicionais, realizando 16 testes *push-out* e uma análise teórica para investigar o mecanismo de falha.

Huo e D'Mello (2013) apresentaram outros trabalhos sobre o tema, com foco nos mecanismos de transferência de cisalhamento nesse tipo de perfil. Através de investigações experimentais, foram realizados 24 testes *push-out* para estudar a conexão sob a força de cisalhamento direto e foi proposto um método de cálculo de resistência ao cisalhamento para a conexão de cisalhamento (Huo; D'Mello, 2013). Huo e D'Mello (2017) realizaram um ensaio de flexão em escala real, o qual permitiu concluir que a ação mista foi significativa e a falha inicial ocorreu com esmagamento do concreto.

Um estudo realizado por Barros (2011) propôs um método de dimensionamento para o sistema *slim floor* em quatro tipos de seções: a primeira com viga SFB e laje mista (I-a), a segunda com viga SFB e laje maciça (I-b), a terceira e a quarta com viga IFB, sendo uma com laje mista (II-a) e outra com laje maciça (II-b). Além disso, foi desenvolvido um *software* para verificação de segurança, com posterior estudo paramétrico.

O perfil *Deltabeam®*, tipologia que vem sendo investigada desde meados dos anos 90, foi estudada por Nádaský (2012) mais detalhadamente. Neste trabalho, foram apresentados requisitos específicos de projeto para esses perfis em estados limites últimos e de serviço, para a concepção adequada deste sistema. Além disso, foram fornecidas condições de aceitação para vibrações e princípios sobre como garantir tempo de resistência ao fogo. Um trabalho para avaliar a resistência ao cisalhamento de perfis *Deltabeams®*, foi realizado por Leskela et al. (2014), comparando testes de cisalhamento realizados no *Technical Research Center of Finland* com um modelo numérico 3D, desenvolvido em elementos finitos. As conclusões tiradas nesse trabalho mostraram que o modelo numérico está calibrado com base no experimental e prediz a resistência ao cisalhamento com bastante precisão (Leskela et al., 2014).

Em continuação ao trabalho anterior, o grupo *Peikko*, em parceria com a *National Technical University of Athens*, realizou em 2016, um estudo experimental e numérico sobre o comportamento à flexão do sistema estrutural composto pela *Deltabeam*. A partir desse estudo, foi possível obter as curvas de deslocamento, valores de deslizamento e padrões de danos das amostras ensaiadas. Percebeu-se que os deslizamentos entre o aço e o concreto foram muito pequenos e a resposta estrutural foi bastante benéfica, indicando que tais vigas podem ser implementadas pelos projetistas (Peltonen et al., 2016).

Um estudo mais recente sobre a *Deltabeam*[®] foi realizado por Derkowski e Skalski (2017). Através de uma análise computacional, discutiu-se requisitos de projeto, mostrando que todas as condições básicas avaliadas foram atendidas. Além disso, foram apontadas vantagens, como aumentar significativamente o vão alcançado e limitar a deformação do elemento durante a montagem, e desvantagens, como redistribuição do momento fletor ao longo do comprimento da viga e a necessidade de grande precisão na montagem (Derkowski; Skalski, 2017).

Por volta de 2015, o perfil assimétrico com aberturas na alma voltou a ser estudado com maior assiduidade por um grupo de pesquisa da China. Chen, Limazie e Tan (2015) apresentaram inicialmente um estudo experimental do perfil, renomeado por eles de “*Shallow Cellular Composite Floor Beam (SCCFB)*”. Foi analisado o comportamento à flexão e os mecanismos de transferência de cisalhamento, considerando que o concreto que passa através das aberturas na alma do perfil é combinado com barras de aço para promover o comportamento misto. Com os experimentos, demonstrou-se que essa combinação aumenta significativamente a resistência ao cisalhamento, a capacidade de deslizamento e a ductilidade das ligações aço-concreto. Um estudo analítico foi desenvolvido contemporaneamente para determinar a capacidade resistente dessas vigas, permitindo estimar com maior precisão o momento resistente (Limazie; Chen, 2015).

Com os resultados experimentais encontrados por Chen, Limazie e Tan (2015), foi validado um modelo numérico que mostrou como a variação de alguns parâmetros influencia no comportamento misto da viga (Limazie; Chen, 2016). Foi concluído que a variação da largura efetiva da laje de concreto não exerce grande influência no comportamento misto, porém a altura de concreto acima do perfil exerce influência em parâmetros como rigidez à flexão, capacidade de carga do conjunto laje-viga, ação conjunta aço-concreto e resistência ao cisalhamento longitudinal. Além disso, aumentando a espessura da mesa inferior, há aumento significativo na capacidade resistente a flexão e na rigidez da viga, porém, com o aumento do tamanho das aberturas, essa resistência diminui (Limazie; Chen, 2016).

Limazie e Chen (2017) deram continuidade à pesquisa da SCCFB com o estudo de conexões inovadoras de cisalhamento, composta por barras de aço e concreto passando pelas aberturas do perfil. Através de uma análise numérica por elementos finitos, investigaram parâmetros como mecanismo de transferência de força, capacidade de carga e comportamento de falha dessas conexões. Simulando testes *push-out* em duas configurações diferentes de perfil (I assimétrico e T invertido), foi revelado que o tipo de conexão proposta é efetivamente capaz de fornecer a resistência ao cisalhamento e o comportamento dúctil desejado. A partir dos resultados experimentais e numéricos obtidos nos seus estudos anteriores, Chen e Limazie (2018) apresentaram e validaram uma proposta analítica de projeto para a verificação dessas conexões de cisalhamento e orientações para o dimensionamento do SCCFB.

Hechler et al. (2016) analisaram estruturalmente o *Composite Slim-Floor Beam* (CoSFB). Para isso, foram realizados testes *push-out* avaliando cisalhamento, vibração e deformação e foi proposto um método para ativar a largura total efetiva do concreto. Ensaio de flexão também foram realizados, obtendo-se as curvas força x deslocamento das amostras. As avaliações mostram um aumento da capacidade de carga em 100% e da rigidez em 150%, comparando ao piso misto de pequena altura tradicional.

Em 2018, alguns pesquisadores continuaram o estudo de perfis CoSFB, como Sheehan et al. (2019), que realizaram testes de cisalhamento e ensaios de flexão, a fim de avaliar o grau de conexão de cisalhamento e a capacidade do conector utilizado. Foi mostrado que a quantidade de barras de aço que passam pelas aberturas da viga influenciam diretamente na resistência à flexão. Baldassino et al. (2018) também fizeram um estudo experimental, com o objetivo de avaliar o comportamento em serviço de vigas CoSFB, influenciado pelo tempo de cura do concreto e efeitos da fluência. Baseado nos estudos experimentais anteriores, Dai et al. (2020) realizaram um estudo numérico e avaliaram parâmetros como o diâmetro das aberturas, que influenciam no tamanho do pino de concreto, e a resistência do concreto. Concluiu-se que, quanto maior a abertura, maior a resistência ao cisalhamento, porém, menor a capacidade de força da viga de aço.

O estudo mais recente de novas seções de aço foi desenvolvido por Derysz, Lewinski, Wiech (2017), onde foi estudada uma seção composta por dois perfis T invertidos, sendo a laje pré-fabricada apoiada nas abas do perfil e, em seu interior, colocado um reforço e preenchido com concreto auto adensável. Resultados de testes experimentais indicaram que a queda da resistência está ligada à perda das ligações entre a viga e a laje. Assim, elementos de conexão especiais foram projetados em forma de pinos RC, para evitar esse comportamento, sendo realizados testes em escala real. Concluiu-se que esses pinos têm resistência e rigidez suficientes para permitir a ação mista do elemento, capaz de atingir os estados limites últimos.

Yu et al. (2019) investigaram experimentalmente o desempenho à flexão de uma tipologia de *slim floor* composta pelo perfil I tradicional ou castelado. Buscando melhorar a rigidez desse sistema, para ser utilizado em mecanismos de transferência do piso misto convencional para o de pequena altura, os autores avaliaram a influência da altura das vigas e do tamanho das formas de aço na capacidade resistente à flexão. Os resultados dos ensaios indicaram que esses dois parâmetros afetaram diretamente a rigidez e capacidade resistente do sistema, aumentando esses fatores com o aumento de dimensões. Além disso, o trabalho propôs métodos de cálculo da rigidez e capacidade resistente à flexão, que foram validados e considerados aplicáveis para essa tipologia.

Um estudo recente, de caráter teórico e abrangente, foi desenvolvido por Ahmed e Tsavdaridis (2019), trazendo o resumo de tipologias de piso misto de pequena altura, antigas, recentes e novas tendências, juntamente com características e formulações de projeto, baseadas no Eurocode 4 (2004). A partir desse trabalho, concluiu-se que há necessidade de mais pesquisas nessa área, para a melhoria dos códigos normativos.

Dois trabalhos publicados por Hosseinpour et al. (2018a, b) avaliaram, experimental e numericamente, diferentes formas de abertura da viga slim floor, dentre elas circulares, retangulares e quadradas. Além disso, foi investigado um conector de cisalhamento tubular, que se mostrou mais resistente, porém menos dúctil, que o conector tipo pino com cabeça, soldado na alma do perfil. Baharom et al. (2018) compararam as conexões aço-concreto resultantes do concreto que passa entre as aberturas (convencional) e o conector tubular proposto nos trabalhos anteriores. O conector tubular aumenta, aproximadamente, quatro vezes a resistência ao cisalhamento, em comparação com a conexão convencional.

Ryu et al. (2017) analisaram, experimental e numericamente, a capacidade resistente ao cisalhamento de um piso composto por viga celular, chapa de aço utilizada como forma, esferas de poliestireno (EPS), tela soldada e concreto moldado in loco. Xia et al. (2021) desenvolveram um estudo experimental, numérico e analítico, sobre a resistência à flexão de vigas do *slim floor*. Para isso, foram utilizados três tipos de conectores de cisalhamento: pinos com cabeça, barra de aço transversal e concreto passando pelas aberturas. Além disso, foi desenvolvido um método de cálculo para estimar a resistência à flexão última, sendo que os resultados experimentais mostraram boa concordância com os resultados teóricos.

Em estudo mais recente, Lin, Monti e Wu (2023) analisaram resultados experimentais de outros autores, para avaliar a eficácia das conexões de cisalhamento adotadas. Para isso, realizaram simulações numéricas com interação total entre os componentes e compararam com os resultados experimentais. Assim, quanto mais próximo do valor encontrado na simulação, mais eficaz é a conexão adotada. Em relação ao sistema composto pelo perfil celular, os autores concluíram que a influência das aberturas na alma não pode ser ignorada, pois, apesar de reduzirem a capacidade resistente em comparação com o perfil de alma cheia, elas ajudam a melhorar o comportamento misto do sistema.

Muitos pesquisadores realizaram trabalhos sobre a eficiência das tipologias de piso misto de pequena altura em situações de incêndio. Além das pesquisas de Bailey (1999) e Makelainen e Ma (2000), já apresentadas anteriormente, cabe citar Ellobody (2011) e Ellobody (2012), estudando o perfil CoSFB, Maraveas, Swailes e Wang (2012) e Alam et al. (2018), avaliando numericamente o perfil *Asymmetric Slimflor Beam*, Maraveas, Tsavdaridis e Nadja (2016), Alam et al. (2021), Panev et al. (2021), em pesquisa sobre o *Shallow Cellular Composite Floor Beam* e Albero et al. (2018), Albero et al. (2019) e Albero et al. (2020), trabalhando, experimental e numericamente, com perfis *Slimflor* e *Integrated Floor Beam*.

No Brasil, apesar do tema não ser ainda muito explorado, alguns pesquisadores já realizaram estudos, focando principalmente no dimensionamento dessas estruturas. O trabalho de De Nardin e El Debs (2008) foi o precursor nesse tema. A pesquisa trata de vigas parcialmente revestidas, em que foram iniciadas análises sobre a posição dos conectores de cisalhamento. Para esse estudo, foram ensaiadas três vigas parcialmente

revestidas, com conectores do tipo pino com cabeça soldados à mesa inferior, à alma e um modelo sem conectores. Os resultados experimentais mostraram que a capacidade resistente à flexão é levemente aumentada quando são utilizados conectores soldados à mesa inferior do perfil. Em relação ao escorregamento relativo entre o aço e o concreto, essa posição proporciona uma redução em torno de 37%, quando comparada à amostra sem conectores. Além disso, concluiu-se que a posição dos conectores não modifica o modo de falha.

Em continuidade a esse trabalho, Cavalcanti (2010) analisou, experimental e numericamente, a contribuição da armadura na capacidade resistente de vigas mistas parcialmente revestidas e sua eficiência na garantia do comportamento conjunto do aço e concreto. Ramos (2010) fez um estudo numérico, validado com os resultados experimentais de Lawson, Mullett e Rackham (1997), em que foi analisada a influência de parâmetros no comportamento da estrutura, como a resistência do concreto, a variação da altura da capa de concreto e a taxa de armadura. A análise paramétrica revelou que a variação da resistência do concreto tem pouca influência no momento resistente, sendo este mais sensível à variação da altura da capa de concreto.

Em 2012, De Nardin e El Debs realizaram um estudo experimental, com o objetivo de avaliar as conexões entre pilar e viga no sistema *slim floor*. A ligação pilar-viga analisada se dá por uma chapa que atravessa o pilar misto e é conectada à alma da viga por uma única linha de três parafusos, sendo o comportamento misto do piso garantido por conectores de cisalhamento soldados à mesa superior. Concluiu-se que a ligação mista apresentou comportamento não-linear e a presença da laje mista modificou o comportamento da ligação e contribuiu para a transferência de momentos entre a viga e o pilar. Além disso, foi confirmada a interação total aço-concreto, pois não houve deslizamento entre a laje e a viga.

Rocha (2012) fez um estudo numérico para avaliar o desempenho térmico e estrutural do piso misto de pequena altura com e sem armadura. Constatou-se que o uso de armadura influenciou o comportamento estrutural apenas após os 90 minutos de exposição ao incêndio padrão, mantendo o comportamento mais suave, com menores deslocamentos. No mesmo ano, Friedrich (2012) fez um estudo experimental testando uma nova geometria de fôrma de aço trapezoidal com mossas nas laterais, para pisos mistos de pequena altura. A estrutura apresentou razoável resistência ao cisalhamento longitudinal e o modo de ruptura foi semelhante aos de outros sistemas estudados na literatura.

Santos, Lima e Sakiyama (2016) apresentaram uma metodologia de dimensionamento para o *slim floor*, em conjunto com a laje *steel deck*, utilizando o *software* VigaMix, com orientações para esse dimensionamento, visto que nenhuma norma brasileira aborda o tema. Mesquita (2016) avaliou o comportamento estrutural à flexão de vigas mistas de *slim floor* com aberturas na alma, através da modelagem numérica, utilizando o ABAQUS®. Verificou que, em função dos meios de conexão utilizados, as vigas *slim floor* com aberturas na alma conseguem atingir diversos graus de interação, podendo alcançar inclusive a condição de interação completa.

Souza (2016) fez um estudo sobre o piso misto de pequena altura composto por lajes alveolares protendidas. O trabalho foi desenvolvido em duas partes: a parte experimental, em que foram feitos ensaios de cisalhamento direto (*push-out*) e de flexão, e a parte numérica, realizando uma análise paramétrica. Os resultados experimentais mostraram que os conectores tipo pino com cabeça, aliados ao preenchimento dos alvéolos, aumentaram a capacidade resistente da ligação entre o aço e o concreto. A análise paramétrica mostrou que a variação da mesa inferior do perfil teve maior influência no momento fletor resistente que a variação da espessura da capa de concreto. Andrade (2017) realizou um estudo comparativo da espessura da laje de um pavimento do edifício do IFMG, que foi concebido no sistema misto *steel deck*, com uma laje calculada no sistema *Slim Floor*, utilizando o *software* CoSFB, da *ArcelorMittal*. Concluiu que o pavimento teria uma redução de 45% na altura total, se fosse utilizado o sistema *Slim floor*.

Kochem (2018) desenvolveu um estudo numérico de uma ligação mista vigapilar, utilizando o perfil *Asymmetric Slimflor Beam (ASB)* e laje com fôrma incorporada, no *ABAQUS®*. Foram apresentados os procedimentos para o desenvolvimento do modelo numérico, a avaliação do efeito dos modelos constitutivos dos materiais e um estudo paramétrico, analisando a influência da taxa de armadura da laje. Borghi e El Debs (2019) realizaram um estudo numérico comparativo entre a *SCCFB*, tipologia com aberturas na alma da viga, e a *Asymmetric Slimflor Beam (ASB)*, sem aberturas, analisando o comportamento à flexão e Borghi (2020), comparando a *SCCFB* com outras três tipologias: *ASB*, *Deltabeam®* e *Composite Slim Floor Beam*. Os estudos mostraram que as características particulares da *SCCFB* contribuem para uma maior rigidez e resistência à flexão do sistema, comparativamente às outras tipologias.

Coldebella, Ferreira e De Nardin (2022) avaliaram experimentalmente o piso misto de pequena altura com laje alveolar e apenas uma abertura no perfil, com o objetivo de estudar os mecanismos responsáveis pela transferência de forças de cisalhamento na interface aço-concreto. Para isso, avaliou-se a influência da presença de barras de armadura atravessando os alvéolos do perfil e da laje, o diâmetro dessas barras e a resistência à compressão do concreto, mostrando que os três parâmetros influenciam na capacidade resistente do sistema, principalmente no comportamento pós-pico.

Um estudo numérico foi desenvolvido por Pereira Júnior (2022), que propôs um modelo analítico para determinação do momento resistente em pisos mistos de pequena altura com perfil celular e laje alveolar. Além disso, realizou um estudo paramétrico, analisando o diâmetro da barra transversal, espessuras das mesas e alma, diâmetro e quantidade de aberturas na alma do perfil celular, resistência ao escoamento do aço, capa estrutural, taxa de armadura da laje, largura da laje e coeficiente de atrito na superfície de contato entre os materiais. Concluiu-se que o aumento da espessura das mesas, da alma, da capa estrutural e da largura da laje conferiram maior rigidez e capacidade resistente ao sistema, enquanto o aumento do diâmetro das aberturas do perfil celular reduziu.

CONCLUSÕES

Em geral, os trabalhos que compõem a revisão bibliográfica apresentam uma avaliação do comportamento estrutural do sistema *slim floor*, principalmente com análises de resistência ao cisalhamento e à flexão. Os resultados encontrados pelos autores dependem da tipologia estudada, mas mostram bom desempenho das estruturas, confirmando que a aplicação desse sistema é viável. A maioria dos trabalhos foi realizada a partir de ensaios experimentais, sendo complementados com simulação numérica. Trabalhos analíticos ainda são iniciais, visto que, por falta de normatização, trazem métodos de dimensionamento baseados em normas para outras estruturas e que não se aplicam a todas as tipologias existentes.

Ficou evidente, durante a pesquisa, que o estudo do comportamento do *slim floor* em situações de elevadas temperaturas é bastante frequente, assim como o estudo de conexões de cisalhamento. Muitos autores investigam conexões alternativas ao uso tradicional do pino com cabeça soldado à mesa superior do perfil.

Pode ser observado que as tipologias com uma maior gama de pesquisas são a *Asymmetric Slimflor Beam* (ASB) e a *Shallow Cellular Composite Floor Beam* (SCCFB), apresentando estudos mais completos, com análises experimentais, numéricas e teóricas/analíticas. A *Deltabeam*® e o *Composite Slim-Floor Beam* (CoSFB) são tipologias mais recentes e a maioria dos estudos é para confirmar sua capacidade estrutural, consolidando-as como grandes possibilidades para o desenvolvimento e ampliação do uso dos pisos mistos de pequena altura.

Os demais perfis citados na revisão bibliográfica, como o UPE *slimfloor system*, *D-beam*, iTECH e a seção composta por dois perfis T invertidos, apresentam estudos bem iniciais e ainda não são empregados notavelmente na construção. Outros, como o *Slimflor* e o *Integrated Floor Beam*, já estão em desuso e não oferecem boas bases experimentais.

Dessa forma, conclui-se que a presente revisão bibliográfica, que é um recorte da dissertação da primeira autora (Borghi, 2020), cumpriu o objetivo de mapear os estudos existentes sobre as tipologias do piso misto de pequena altura, colaborando para a ampliação do conhecimento e sua disseminação na comunidade científica e técnica, cooperando com a maior utilização desse sistema estrutural.

REFERÊNCIAS

AHMED, I. M.; TSAVDARIDIS, K. D. The evolution of composite flooring systems: applications, testing, modelling and Eurocode design approaches. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 155, p.286-300, abr. 2019. Elsevier BV.

ALAM, N.; NADJAI, A.; ALI, F.; NADJAI, W. Structural response of unprotected and protected slim floors in fire. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 142, p.44-54, mar. 2018. Elsevier BV.

ALBERO, V.; ESPINÓS, A.; SERRA, E.; ROMERO, M.L.; HOSPITALER, A. Experimental study on the thermal behaviour of fire exposed slim-floor beams. **Proceedings 12th International Conference On Advances In Steel-concrete Composite Structures - ASCCS 2018**, [s.l.], 27 jun. 2018. Universitat Politècnica València.

ALBERO, V.; ESPINÓS, A.; SERRA, E.; ROMERO, M.L.; HOSPITALER, A. Numerical study on the flexural behaviour of slim-floor beams with hollow core slabs at elevated temperature. **Engineering Structures**, [s.l.], v. 180, p.561-573, fev. 2019. Elsevier BV.

ALBERO, V.; ESPINÓS, A.; SERRA, E.; ROMERO, M.L.; HOSPITALER, A. Innovative solutions for enhancing the fire resistance of slim-floor beams: Thermal experiments. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 165, p.105897-105908, fev. 2020. Elsevier BV.

ANDRADE, D. M. **Comparativo de dimensionamento de pavimento misto de steel deck com o sistema slim floor utilizando o software CoSFB**. 2017. 69p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

ASCE, 135(4), pp. 448-458. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

ARCELORMITTAL. **Slim floor – an innovative concept for floors**. 2017.

Asymmetric Steel Section with Web Openings”, Journal of Structural Engineering, BAILEY, C. G. The behaviour of asymmetric slim floor steel beams in fire. **Journal of Constructional Steel Research**. v. 50, p. 235-257, 1999.

BALDASSINO, N.; ROVERSO, G.; RANZI, G.; ZANDONINI, R. Service and Ultimate Behaviour of Slim Floor Beams: An Experimental Study. **Structures**, [s.l.], out. 2018. Elsevier BV.

BARROS, M. O. **Análise e dimensionamento de pavimentos mistos slim floor**. 2011. 132p. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova Lisboa, Lisboa, 2011.

CAVALCANTI, L. A. (2010). 151p. **Estudo teórico-experimental da contribuição da armadura para a capacidade resistente de vigas parcialmente revestidas**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CHEN, S.; LIMAZIE, T.; TAN, J. Flexural behavior of shallow cellular composite floor beams with innovative shear connections. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 106, p.329-346, mar. 2015. Elsevier BV.

CHEN, S.; LIMAZIE, T. Composite slim floor beams with innovative shear connections. **Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers - Structures And Buildings**, [s.l.], v. 171, n. 1, p.29-37, jan. 2018. Thomas Telford Ltd.

DAI, X.; LAM, D.; SHEEHAN, T.; YANG, J.; ZHOU, K. Effect of dowel shear connector on performance of slim-floor composite shear beams. **Journal of Constructional Steel Research**. v. 173, 2020.

DE NARDIN, S.; EL DEBS, A. L. H. C. Composite connections in slim-floor system: An experimental study. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 68, n. 1, p. 78–88, 2012.

DE NARDIN, S; EL DEBS, A. L. H. C. Avaliação da influência da posição dos conectores de cisalhamento no comportamento de vigas mistas parcialmente revestidas. **Revista Escola de Minas**. Ouro Preto, v.61, n.2, p.239-247, 2008.

DERKOWSKI, W.; SKALSKI, P. New concept of slimfloor with prestressed composite beams International. **Procedia Engineering**. v. 193, p. 176–183, 2017.

DERYSZ, J.; LEWINSKY, P.; WIECH, P. New concept of composite steel-reinforced concrete floor slab in the light of computational model and experimental research. **Procedia Engineering**. v. 193, p. 168–175, 2017.

ELLOBODY, E. Composite slim floor stainless steel beam construction exposed to different fires. **Engineering Structures**, [s.l.], v. 36, p.1-13, mar. 2012. Elsevier BV.

ELLOBODY, E. Nonlinear behaviour of unprotected composite slim floor steel beams exposed to different fire conditions. **Thin-walled Structures**, [s.l.], v. 49, n. 6, p.762-771, jun. 2011. Elsevier BV.

FRIEDRICH, J. T. **Análise teórico-experimental de pisos mistos de pequena altura**. 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

GIRDER-SLAB TECHNOLOGIES. **The Girder-Slab System LRFD Version: Design Guide**. 3. ed. USA: Girder-Slab Technologies, 2015. 32 p.

HECHLER, O.; BRAUN, M.; OBIALA, R.; KUHLMANN, U.; EGGERT, F.; HAUF, G. CoSFB - Composite Slim-Floor Beam: Experimental Test Campaign and Evaluation. **Composite Construction in Steel and Concrete VII**, [s.l.], p.158-172. 2016.

HEGGER, J; ROGGENDORF, T; KERKENI, N. Shear capacity of prestressed hollow core slabs in slim floor constructions. **Engineering Structures**. Elsevier Ltd, v.31, n., p. 551-559, 2009.

HOSSEINPOUR, E.; BAHAROM, S.; BADARUZZAMAN, W. H. W.; SHARIATI, M.; JALALI, A. Direct shear behavior of concrete filled hollow steel tube shear connector for slim-floor steel beams. **Steel and Composite Structures**, v. 26, n. 4, p. 485-499,

HOSSEINPOUR, E; BAHAROM, S.; BADARUZZAMAN, W. H. W.; A. W. AL ZAND. Push-out test on the web opening shear connector for a slim-floor steel beam: Experimental and analytical study. **Engineering Structures**, v. 163, p. 137-152,

HUO, B. Y.; D'MELLO, C.; TSAVDARIDIS, K. D. Experimental and Analytical Study of Push-out Shear Tests in Ultra Shallow Floor Beams. **labse Symposium Report**, [s.l.], v. 97, n. 34, p.31-38, 2010. International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE).

HUO, B. Y.; D'MELLO, C. A. Push-out tests and analytical study of shear transfer mechanisms in composite shallow cellular floor beams. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 88, p.191-205, set. 2013. Elsevier BV.

HUO, B. Y.; D'MELLO, C. A. Shear Transferring Mechanisms in a Composite Shallow Cellular Floor Beam with Web Openings. **Structures**, [s.l.], v. 9, p.134-146. 2017. Elsevier BV. Journal of Civil Engineering, 32(2), pp. 314-328

Ju, Y.K., Kim, D.H. and Kim, S.D. 2005. Experimental Assessment of the Shear

JU, Y. K., KIM, D.; KIM, S.; YOON, S.; LEE, Y.; KIM, D. Dynamic Characteristics of the New Composite Floor System. **Steel structures**. V. 8, p. 347-356. 2008.

JU, Y. K.; KANG, Y.; CHUN, S.; LEE, Y.; KIM, S.; KIM, D.; CHUNG, K.; YOON, S. Experimental assessment of floor vibration using I-TECH composite beam. **CTBUH – Council on Tall Buildings and Urban Habitat**. p. 488-495. 2004.

JU, Y. K.; CHUN, S.; KIM, D.; KIM, D.; KIM, S.; CHUNG, K. Structural performance of I-TECH composite beam steel with web openings. **CIB-CTBUH International Conference on Tall Buildings**. p. 411-418. 2003.

JU, Y. K.; CHUN, S.; KIM, S. Flexural Test of a Composite Beam Using Asymmetric Steel Section with Web Openings. **Journal of Structural Engineering**, [s.l.], v. 135, n. 4, p.448-458, 2009. American Society of Civil Engineers (ASCE).

JU, Y. K.; KIM, D.; KIM, S. Experimental assessment of the shear strength of an asymmetric steel composite beam with web openings. **Canadian Journal of Civil Engineering**, [s.l.], v. 32, n. 2, p.314-328. Canadian Science Publishing. 2005.

Ju, Y.K., Chun, S.C. and Kim, S.E., 2009. "Flexural Test of a Composite Beam using

Ju, Y.K., Chun, S.C., Kim, D.Y., Kim, D.H., Kim, S.D. and Chung, K.R., 2003, June.

Ju, Y.K., Chun, S.C., Kim, D.Y., Kim, D.H., Kim, S.D. and Chung, K.R., 2003, June.

KOCHEM, R. F. F. **Modelagem numérica de piso misto de aço e concreto de pequena altura: ênfase à ligação viga-pilar**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2018.

KUHLMANN, U. **Training Course "Composite Construction - Slim-floor systems"**. Oslo, Noruega: Institute of Structural Design, 2012. 273 slides, color.

LAWSON, R. M.; LIM, J.; HICKS, S. J.; SIMMS, W.I. Design of composite asymmetric cellular beams and beams with large web openings. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 62, n. 6, p.614-629, 2006. Elsevier BV.

LAWSON, R. M.; MULLET, D. L.; RACKHAM, J. W. Design of Asymmetric Slimflor Beams using Deep Composite Decking. **Relatório Técnico P175**. The Steel Construction Institute, 1997.

LESKELA, M. V.; PELTONEN, S.; ILIOPOULOS, A.; KIRIAKOPOULOS, P. Numerical and experimental investigations on the vertical shear resistance of boxed steel cross-sections with concrete infill (Deltabeams). **EUROSTEEL 2014**. Naples, Italy. 2014.

LIMAZIE, T.; CHEN, S. Numerical procedure for nonlinear behavior analysis of composite slim floor beams. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 106, p.209-219, mar. 2015. Elsevier BV.

LIMAZIE, T.; CHEN, S. FE modeling and numerical investigation of shallow cellular composite floor beams. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 119, p.190-201, 2016. Elsevier BV.

LIMAZIE, T.; CHEN, S. Effective shear connection for shallow cellular composite floor beams. **Journal of Constructional Steel Research**, [s.l.], v. 128, p.772-788, jan. 2017. Elsevier BV.

LU, X.H., MAKELAINEN, P. "Parametric studies on steel-concrete composite beams in slim floors", **Proceedings of the 1st European Conference on Steel Structures**, EUROSTEEL'95, Athens, Greece. 1995.

MAKELAINEN, P.; MA, Z. Fire resistance of composite slim floor beams. *Journal of Constructional Steel Research*, [s.l.], v. 54, p.345-363. 2000. Elsevier BV.

MARAVEAS, C.; SWAILES, T.; WANG, Y. A detailed methodology for the finite element analysis of asymmetric slim floor beams in fire. **Steel Construction**, [s.l.], v. 5, n. 3, p.191-198, ago. 2012. Wiley.

MARAVEAS, C.; TSAVDARIDIS, K. D.; NADJAI, A. Fire Resistance of Unprotected Ultra Shallow Floor Beams (USFB): A Numerical Investigation. **Fire Technology**, [s.l.], v. 53, n. 2, p.609-627, 23 mar. 2016. Springer Nature.

MESQUITA, L. C. **Avaliação do comportamento estrutural de vigas mistas de *slim floor* com aberturas na alma**. 2016. 203p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

MULLET, D. L. Slim Floor Design and Construction. **Relatório Técnico P110**. The Steel Construction Institute, 1992.

MULLET, D.L.; LAWSON, R.M. Slim floor Construction using Deep Decking. **Relatório Técnico P127**. The Steel Construction Institute, 1993.

MULLET, D.L.; LAWSON, R.M. Design of Slimflor Fabricated Beams using Deep Composite Decking. **Relatório Técnico P248**. The Steel Construction Institute, 1999.

NÁDASKÝ, P. Steel-Concrete Composite Beams for Slim Floors—Specific Design Features in Scope of Steel Frames Design. **Procedia Engineering**, v. 40, p.274-279, 2012. Elsevier BV.

PAES, J. L. R. **Aportaciones al análisis del comportamiento estructural de sistemas de forjados mixtos tipo "Slim floor"**. Departamento de Engenharia da Construção, Universidade Politécnica da Catalunha, Barcelona, 2003.

PEIKKO. DeltaBeam. **Slim Floor Structures**. Technical Manual, 2014. Disponível em: <<https://media.peikko.com/file/dl/i/qS6c7g/rRibebICUQJvj7DtCwoE4w/DELTABEAMPeikkoGroup8-2014>>. Acesso em: 29 set. 2018.

PELTONEN, S.; LESKELA, M. V.; KIRIAKOPOULOS, P.; ILIOPOULOS, A.; VAYAS, I.; SPYRAKOS, K. Experimental and numerical investigations on the flexural behaviour of boxed steel beams encased in concrete. **The International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures**. Timisoara, Romania. 2016.

RACKHAM, J. W; HICKS, S. J; NEWMAN, G. M. Design of asymmetric slimflor beams with precast concrete slabs. **The Steel Construction Institute**, 2006.

RAMOS, A. L. **Análise numérica de pisos mistos aço-concreto de pequena altura**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 2010.

ROCHA, F. M. **Modelos numéricos de vigas mistas de aço e concreto pertencentes a sistemas de pisos mistos de pequena altura em situação de incêndio**. 2012. 267p. Dissertação (mestrado) – Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SANTOS, V. J. M.; LIMA, D. M.; SAKIYAMA, F. I. H. Slim floor: método de dimensionamento e estudo paramétrico. **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s.l.], v. 13, n. 1, p.106-117, 17 nov. 2016. Universidade Federal de Goiás.

SHEEHAN, T.; DAI, X.; YANG, J.; ZHOU, K.; LAM, D. Flexural behaviour of composite slim floor beams. **Structures**. 2019. Elsevier BV.

SOUZA, P. T. **Análise teórica e experimental de pisos mistos de pequena altura compostos por vigas metálicas e lajes alveolares de concreto**. 2016. 154 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.

TSAVDARIDIS, K. D.; D'MELLO, C.; HAWES, M. Experimental Study of Ultra Shallow Floor Beams (USFB) with Perforated Steel Sections. NSCC2009 - **Nordic Steel Construction Conference**. 2009. Malmö, Sweden.

YU, Y.; WEI, B.; YANG, Y.; XUE, Y.; XUE, H.. Experimental study on flexural performance of steel-reinforced concrete slim floor beams. **Advances In Structural Engineering**, [s.l.], v. 22, n. 11, p.2406-2417, 29 abr. 2019. SAGE Publications.

XIA, Y.; HAN, C.; ZHOU, D.; WANG, Y.; WANG, P. Ultimate flexural strength analysis of composite slim floor beam. **Advances in Structural Engineering**, 2021.

BAHAROM, S.; HOSSEINPOUR, E.; BADARUZZAMAN, W. H. W.; Hollow steel tube versus web opening as shear connectors in slim-floor steel beam. **13th International Conference on Steel, Space and Composite Structures**. Perth, Australia, 2018.

RYU, J. et al. Shear Resistance of a Biaxial Hollow Composite Floor System with GFRP Plates. **Journal of Structural Engineering**, v. 143, n. 2, 2017.

LIN, Z.; MONTI, G.; WU, Z. Composite action in Shallow Steel-beam-Concrete Composite decks. **Engineering Structures**, [S.L.], v. 286, p. 116114, jul. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2023.116114>.

ALAM, N.; MARAVEAS, C.; TSAVDARIDIS, K. D.; NADJAI, A. Performance of Ultra Shallow Floor Beams (USFB) exposed to standard and natural fires. **Journal of Building Engineering**. [s.l.], v. 38, 2021.

PANEV, Y.; KOTSOVINOS, P.; DEENY, S.; FLINT, G. The Use of Machine Learning for the Prediction of fire Resistance of Composite Shallow Floor Systems. **Fire Technology**, [S.L.], v. 57, n. 6, p. 3079-3100, 8 mar. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10694-021-01108-y>.

PEREIRA JÚNIOR, S. E. **Capacidade resistente de vigas mistas parcialmente revestidas formadas por perfil celular e laje alveolar em piso de pequena altura**. Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

COLDEBELLA, G.; PEREIRA JÚNIOR, S. E.; DE NARDIN, S. Experimental study of shear transfer in slim floor systems using precast concrete hollow core slabs and steel beam with web circular opening. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, vol. 15, no. 3, 2022.

USO DO VANT PARA IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS REVESTIDAS COM ELEMENTOS CERÂMICOS

Data de aceite: 26/08/2024

Ana Maria de Sousa Santana de Oliveira

Engenheira Civil; Professora Associada da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus Cascavel; Doutora em Engenharia Civil

Andressa Reinehr

Engenheira Civil

Ricardo Rocha de Oliveira

Engenheiro Civil; Professor Associado da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus Cascavel; Doutor em Engenharia Civil

RESUMO: O cenário dos centros urbanos está sendo marcado diariamente por novas construções, em que se percebe a introdução cada vez mais acentuada de edificações marcadas por elevadas alturas. Assim como toda construção, esses imóveis estão sujeitos à ação de agentes agressivos, como o sol, a chuva, o vento e a poluição, em que as fachadas são os elementos construtivos mais expostos à degradação, sendo então as que, geralmente, primeiro apresentam algum tipo de deterioração. A fim de evitar a perda de suas funções básicas e a desvalorização do imóvel, é de grande valia que sejam

realizados periodicamente vistorias para identificar problemáticas nas fachadas. Contudo, devido às elevadas alturas dessas edificações, a vistoria através de métodos tradicionais se torna dificultosa, uma vez que necessita de tempo e recursos para locação dos equipamentos e acesso do profissional até os pontos desejados. Nesse sentido, esse estudo objetivou utilizar o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para vistoriar edificações, revestidas com pastilhas cerâmicas, no centro urbano de Cascavel-PR, com o intuito de verificar a incidência de manifestações patológicas. A partir da análise dos dados, foi possível obter as tipologias de manifestações patológicas e sua incidência em cada edificação, sendo que, de forma geral, as tipologias mais frequentes nas fachadas com revestimento cerâmico são a eflorescência, o descolamento cerâmico e a sujidade. Além disso, compararam-se, dentro da amostra, as fachadas das direções norte, sul, leste e oeste, com o objetivo de investigar se alguma tipologia de manifestação patológica está associada com a exposição solar, onde se percebeu, no entanto, que cada unidade de estudo possui suas particularidades, tornando inviável generalizar os resultados. Quanto ao VANT, foi constatado que atribui

vantagens para a vistoria predial, por ser uma metodologia que proporciona economia de tempo, de recursos pessoais e de ferramentas e equipamentos, além de possibilitar a obtenção de imagens de qualquer região da fachada, validando assim o uso do VANT para a realização dessas vistorias prediais.

PALAVRAS-CHAVE: Edifícios multifamiliares. Pastilhas cerâmicas. Problemas patológicos. VANT.

INTRODUÇÃO

A mudança no cenário dos centros urbanos marcado por novas construções, nos leva a perceber a introdução cada vez mais acentuada de edificações em grandes alturas. Morais; Silva e Medeiros (2007) destacam que o processo de expansão vertical, visto somente em grandes metrópoles nacionais e regionais, passa a fazer parte também do cenário das pequenas e médias cidades brasileiras. Assim como toda construção, esses imóveis estão sujeitos à ação de agentes agressivos, como o sol, a chuva, o vento e a poluição.

As fachadas, em especial, são os elementos construtivos da edificação que mais estão expostos a esses agentes, sendo então as que, geralmente, primeiro apresentam algum tipo de deterioração. Tondelo e Barth (2019) defendem que o sistema construtivo que compõe as fachadas pode apresentar degradação mais acelerada, em virtude de estar exposto aos agentes ambientais.

Segundo Padilha JR et al. (2007), os revestimentos que compõem as fachadas devem proporcionar proteção e vedação à edificação contra a ação dos agentes externos, além de valorizarem economicamente o imóvel e proporcionarem efeito estético, de acordo com a nobreza e o custo do material.

Dentre os diversos materiais utilizados para revestir as fachadas pode-se citar as placas cerâmicas que por apresentar características como maior durabilidade, facilidade de limpeza, possibilidade de composição harmônica, melhoria da estanqueidade da vedação, do conforto térmico e acústico da fachada e valorização econômica do imóvel, o revestimento cerâmico se torna uma opção para aplicação em fachadas (MEDEIROS; SABBATINI, 1999).

Nesse sentido, as disfunções nas fachadas podem provocar, em curto prazo, desvalorização do imóvel, podendo comprometer a segurança da edificação a médio e longo prazo, sendo necessário, portanto, a preservação desse elemento construtivo para que se possa garantir a impermeabilização, o que está diretamente associada à durabilidade da construção (AGUILAR, 2018).

Porém, de acordo com Tondelo e Barth (2019), o que se observa, principalmente em edificações com elevadas alturas, é a falta de inspeções devidas principalmente à altura dos imóveis, pois acarreta lugares de difícil acesso e custos com locação de equipamentos e ferramentas.

Ainda segundo os autores, ao utilizar métodos tradicionais para realizar a vistoria em fachadas, é necessária uma logística para locação, montagem e a desmontagem de andaimes, escadas e equipamentos de segurança, além de precisar de mão de obra qualificada para execução.

Na mesma linha, Brandão (2020) defende que a necessidade de utilizar andaimes e rapel para acessar uma estrutura alta acarreta custos com mão-de-obra e material de apoio, além de demandar tempo para a preparação dos equipamentos e a chegada do profissional ao local desejado. Além do mais, ao utilizar os métodos tradicionais, principalmente em edificações de grande porte, tem-se dificuldade em realizar a inspeção e o gerenciamento de possíveis pontos de degradação, já que estas edificações possuem locais de difícil acesso (COSTA, 2014).

Diante do exposto, verifica-se que novas metodologias estão sendo usadas para a realização de vistorias nas edificações, como por exemplo, o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Ao fazer uso do VANT para realizar estudos em fachadas é possível acessar diferentes locais em um curto espaço de tempo, além de analisar áreas maiores ao invés de pontos específicos, enfatizando que, devido ao tamanho relativamente pequeno do equipamento, não seria necessário locais com muito espaço para alocá-lo, além de outros fatores, como custo relativamente baixo e bom desempenho durante a compreensão da análise, tornam o uso do equipamento uma solução viável para o mapeamento de áreas afetadas (LISBOA et al., 2018).

Diante das vantagens em relação aos métodos tradicionais, o VANT vem ganhando espaço na indústria da construção civil e, de acordo com Granemann (2017), esta tecnologia será cada vez mais utilizada para realizar mapeamentos e inspeções em qualquer tipo de obra.

Portanto, este trabalho visa identificar as manifestações patológicas nas fachadas de edificações na cidade de Cascavel-PR, realizando vistorias com o auxílio do VANT, com o propósito de verificar a incidência em fachadas com revestimento cerâmico.

METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado em Cascavel-PR, na área urbana central, visto que é nessa área concentra a maior quantidade de edifícios, muitos desses com altura superior a 23,0 metros, o que corresponde à aproximadamente oito pavimentos. Para tanto, três considerações foram observadas durante a seleção das unidades de estudo: a primeira consideração refere-se ao tipo de revestimento utilizado nas fachadas, onde optou-se por selecionar apenas edificações que fossem revestidas com material cerâmico, sendo prioridade de escolha os edifícios que continham todas as fachadas revestidas. Como segunda consideração, observou-se a altura das edificações, sendo selecionadas aquelas classificadas, de acordo com o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico (CSCIP) do Corpo de Bombeiros do Estado do Paraná, em medianamente altas ou altas, ou seja, com altura superior a 23,0 metros.

A terceira consideração foi a realização de uma visita nessas edificações, com o propósito solicitar autorização para que pudesse fazer parte da amostragem. Foram escolhidos 02 edifícios para fazer parte da análise, considerando os que apresentavam maior quantidade de manifestações patológicas, visíveis a olho nu, em suas fachadas.

A Figura 01 apresenta a localização das edificações utilizadas nesse estudo, nomeadas com as letras A e B, a fim de preservar seus verdadeiros nomes.



Figura 01 – Localização dos Edifícios - (Adaptado de GOOGLE MAPS, 2023).

Para caracterizar as edificações, desenvolveu-se um checklist, que foi preenchido individualmente, onde foram anotadas algumas informações importantes para caracterizar o edifício, como nome, endereço, número de pavimentos, tipo de sistema construtivo e abrangência do revestimento cerâmico em cada fachada. As fachadas de cada edificação foram nomeadas, de acordo com a posição solar, em Fachada Norte, Fachada Sul, Fachada Leste e Fachada Oeste.

Outra etapa da coleta de dados consistiu em entrevista com o síndico responsável por cada edificação, a fim de obter informações pertinentes ao edifício e aos processos de manutenção e reparo das fachadas. As perguntas tinham o intuito de identificar problemas patológicos nas fachadas relatados pelos condôminos, a ocorrência de processos de manutenção nas fachadas, identificando, caso tenham ocorrido, quantos e quais processos, assim como quando foram realizados e quantos processos de reparo foram feitos.

A vistoria técnica consistiu na coleta de imagens de todas as fachadas de cada edificação. As imagens foram obtidas utilizando um VANT do tipo multirrotor, modelo DJI Mavic V2 Pro, ilustrado na Figura 02. Este equipamento possui uma câmera, com resolução de 20 megapixels, acoplada em sua carcaça, e um peso de 907 gramas.



Figura 02 – VANT DJI Mavic V2 Pro.

O VANT utilizado, enquadrado na Classe 3, já estava devidamente cadastrado na ANAC e possuía seguro com cobertura de danos a terceiros, não sendo preciso a autorização do DECEA devido ao fato do equipamento, durante o voo, ter permanecido no perímetro da edificação, ou seja, fora da área pertencente ao espaço aéreo brasileiro. Como essa pesquisa foi realizada em unidades residenciais multifamiliares, a autorização para o voo foi solicitada apenas ao síndico, através da carta de consentimento.

Em relação ao planejamento do voo, optou-se pela forma de operação VLOS, na qual o operador manteve contato visual com o VANT durante todo o levantamento. Quanto à linha de voo do VANT, deu-se prioridade ao caminhar do tipo vertical (Figura 03) devido à facilidade de distinguir em qual pavimento e prumada a imagem foi captada, além de facilitar a visualização do plano da fachada.

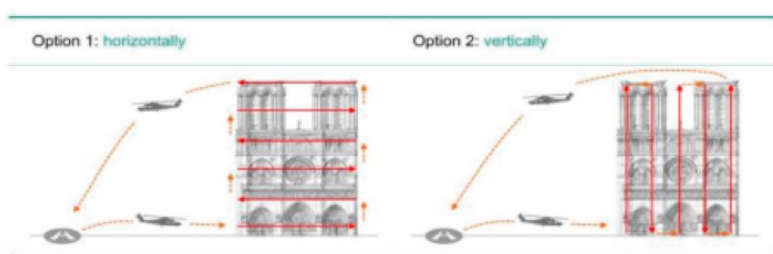


Figura 03: Opções de direções do caminhar.

Foram obtidas imagens de cada pavimento do alinhamento, de forma que ocorresse a sobreposição entre elas. Nos pontos da fachada localizados próximos à altura dos olhos, utilizou-se o aparelho celular para captura das imagens. Após a realização do voo, as imagens passaram por processo de seleção em que as redundantes foram excluídas e todas as demais foram analisadas.

Inicialmente, verificou-se as tipologias de manifestações patológicas em cada fachada de cada um dos edifícios. Na sequência, foram analisadas as tipologias de manifestações patológicas em cada edificação, com o intuito de demonstrar qual delas foi mais incidente no edifício. Com o intuito de averiguar se a exposição solar das fachadas possuía relação com a ocorrência das manifestações patológicas, foram comparadas as direções leste e oeste de cada edificação, assim como as direções sul e norte.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização das edificações

Edificação A

A edificação A tem 14 anos. É composta por 18 pavimentos padrão mais térreo e subsolo, sendo o sistema construtivo do tipo alvenaria convencional, a arquitetura é composta por planos de fachadas com alinhamentos distintos entre si, os quais revestidos com pastilhas cerâmicas, nas tons azul escura, verde escura ou amarela.

Para facilitar a análise, desenvolveu-se um croqui da edificação, em que cada um dos 26 planos de fachadas foi nomeado com a letra inicial da posição solar à qual se refere e uma numeração, conforme apresentado na Figura 04.

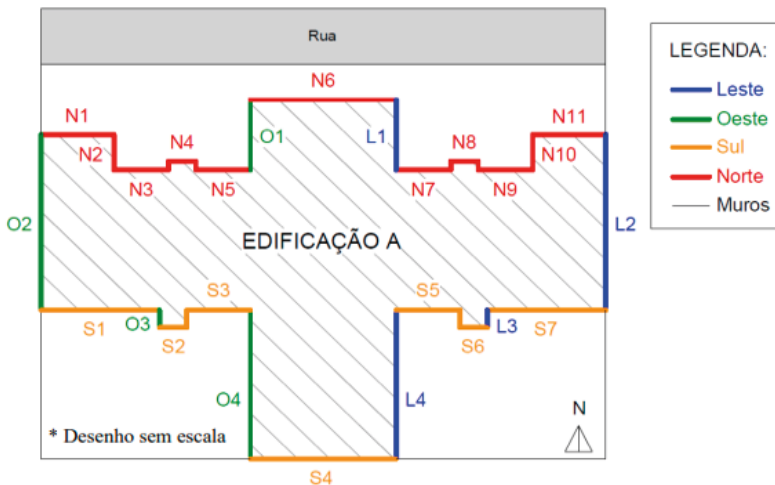


Figura 04 – Croqui da Edificação A.

Foi constatado que a edificação A passou por um processo de manutenção em maio de 2014. Na ocasião, o edifício, com cinco anos de idade, recebeu manutenção nas pastilhas cerâmicas, as quais foram lavadas, e aquelas que apresentavam descolamento foram substituídas. Além disso, as juntas de assentamento foram tratadas com produtos impermeabilizantes. Contudo, o serviço foi interrompido devido a falhas de execução por parte da empresa prestadora de serviço. No período em que a manutenção foi realizada, o síndico relatou reclamações dos moradores a respeito de infiltrações interna aos apartamentos e pastilhas cerâmicas descoladas nas fachadas.

Edificação B

A edificação B foi concluída em agosto de 1999, possui 23 anos. É composta por 17 pavimentos padrão mais térreo e subsolo, sendo o sistema construtivo do tipo alvenaria convencional. Sua geometria é composta por diferentes alinhamentos de fachadas, em que algumas são revestidas com pintura e outras com pastilhas cerâmicas, nas cores azul escura e branca de acordo com o observado na Figura 05.

REVESTIMENTO FACHADAS	PINTURA	PASTILHA CERÂMICA	
		AZUL ESCURA	BRANCA
NORTE	-	N1, N5 E N9	N2, N3, N4, N6, N7 E N8
SUL	S1, S2, S3	-	-
OESTE	O5	O4	O1, O2 E O3
LESTE	L5	L4	L1, L2 E L3

Figura 05 - Revestimento utilizado em cada plano de fachada da Edificação B.

A Figura 06 apresenta o croqui da edificação, em que cada plano de fachada, no total de 22, foi nomeado com a letra inicial da posição solar à qual se refere e uma numeração. É importante destacar que todas as fachadas revestidas em pintura, com exceção da S2, possuem pequenos detalhes arquitetônicos em pastilha cerâmica da cor azul escura, localizados na porção superior da edificação.

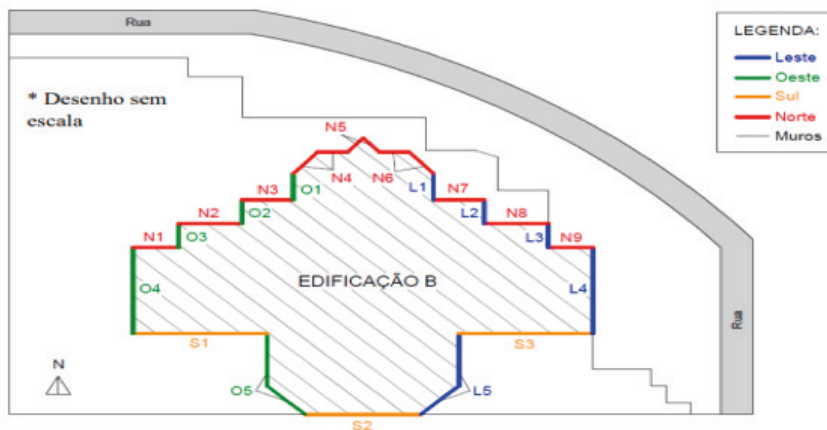


Figura 06 – Croqui da Edificação B.

Outra particularidade desta edificação refere-se a seus muros, em que as faces voltadas para o passeio público possuem revestimento de pastilha cerâmica, de cor azul escura, e constituem alinhamentos diferentes entre si, conforme observado na Figura 07.



Figura 07 - Face externa dos muros da edificação B.

Quanto às intervenções realizadas no edifício, as fachadas não foram submetidas a nenhum processo de reparo. Apenas um serviço de manutenção foi realizado, há aproximadamente dez anos, no qual as fachadas com pastilha cerâmica foram lavadas e as juntas de assentamento receberam tratamento com produto impermeabilizante. A equipe de manutenção da edificação relata a presença de manchas de umidade dentro de apartamentos, dos 11º, 14º e 17º pavimentos, principalmente nas paredes que contornam a unidade, voltadas para a direção norte.

Manifestações patológicas por edificação

Nesta seção são apresentados e discutidos sobre as tipologias de manifestações patológicas encontradas em cada fachada das edificações, analisando, também, a resultante dos problemas no edifício.

Edificação A

De acordo com os levantamentos na edificação A, de forma geral, há a presença de manifestações patológicas que podem alterar o desempenho do imóvel, como as eflorescências e os descolamentos cerâmicos, e outras que só afetam a estética das fachadas, como as sujidades.

A Figura 08 apresenta as tipologias de manifestações patológicas encontradas em toda a edificação A e a incidência de cada uma, de acordo com o número de planos de fachada que acometem.

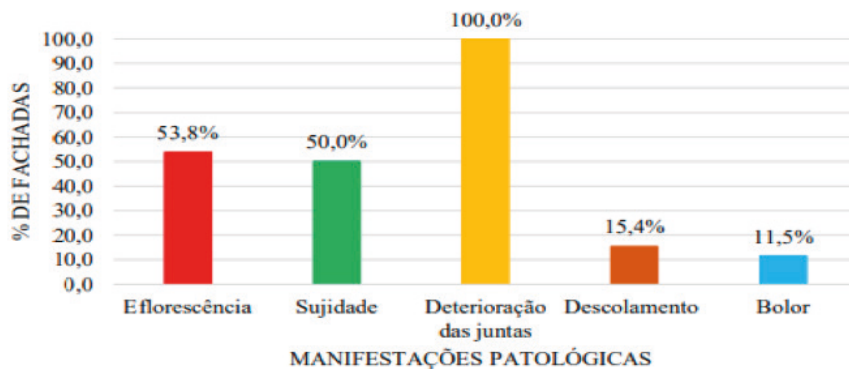


Figura 08 - Tipologias de manifestações patológicas no Edifício A.

É importante verificar que 100% dos planos de fachadas possuem juntas deterioradas. Essa manifestação patológica é significativa nas platibandas, onde percebe-se uma quantidade significativa das juntas de assentamento das placas cerâmicas sem o rejunte, como no caso dos planos de fachada L2, S4 e O1. Em outros planos de fachadas, como o N6, N11, S1 e S4, a presença de juntas deterioradas é notada, além da platibanda, abundante ao longo de toda a fachada.

Outra tipologia de manifestação patológica com grande incidência é a eflorescência, que aparece em 53,8% dos planos de fachada da edificação A, apresentando-se na forma de véu, em cor esbranquiçada.

A direção norte, por exemplo, possui incidência considerável de eflorescência, principalmente os planos N6, N8, N9 e N11. Foram identificadas também regiões com descolamento da pastilha cerâmica. Em dois planos de fachadas houve a queda do revestimento, sendo eles o N7, em que o descolamento ocorreu no beiral do primeiro pavimento (Figura 09) e o S3, que apresentou o desprendimento de apenas uma pastilha cerâmica no balanço do 16° pavimento.

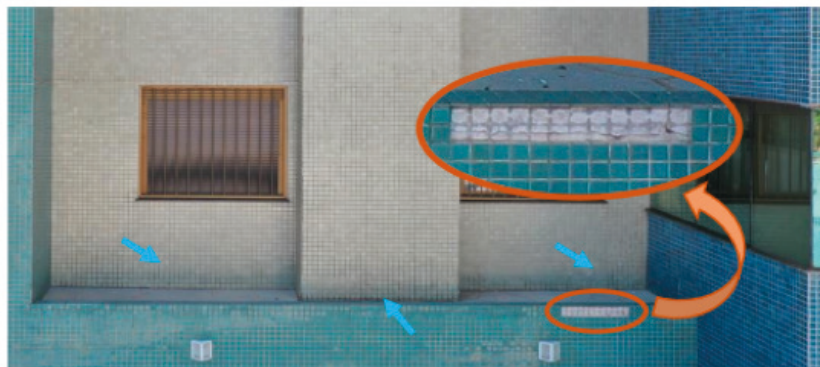


Figura 09 - Descolamento em N7 e região embolorada em N7, N8 e N9.

Já no plano N6 foi observado o estufamento e descolamento de reboco (Figura 10) no balanço do nono pavimento, e que ainda não provocou a queda do revestimento.

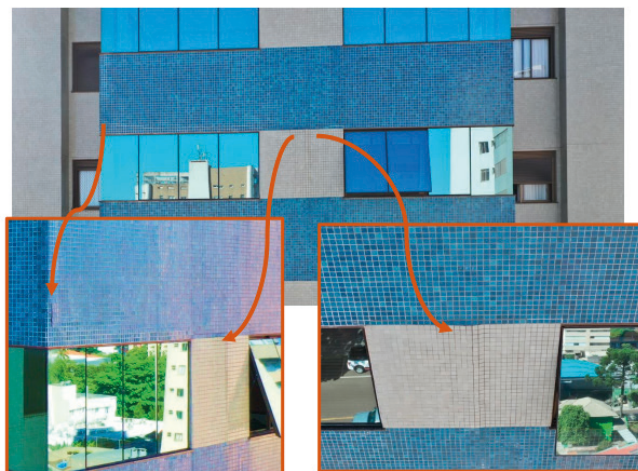


Figura 10 - Estufamento das pastilhas cerâmicas e descolamento de reboco em N6.

Observou-se regiões com emboloramento na direção norte, mais especificamente nos planos de fachadas N7, N8 e N9. Nesses planos, o bolor está localizado próximo à laje do beiral do primeiro pavimento.

A sujidade foi outra manifestação patológica encontrada na edificação A, presente em 50% de seus planos de fachadas. Nas regiões de aberturas, como as janelas, é possível perceber manchas de sujidade, com coloração escura e aspecto de escorrimento, embaixo dos peitoris, a exemplo de N1, N11 e S1, conforme pode ser observado na Figura 11. Além disso, alguns planos de fachadas apresentam sujidades nas juntas de assentamento, como N4, N8, L2 e L4.



Figura 11 - Sujidade abaixo das janelas em S1.

Um fato a destacar é que, nas regiões protegidas por beirais, como os planos de fachadas S3 e S5, que possuem compartimentos para alocar aparelhos de ar-condicionado, foi verificado que as juntas de assentamento estão com aparência limpa e sem deterioração, se comparada àquelas em que a chuva incide diretamente na fachada.

A Figura 12 apresenta a incidência de cada tipologia de manifestação patológica nas quatro direções das fachadas.

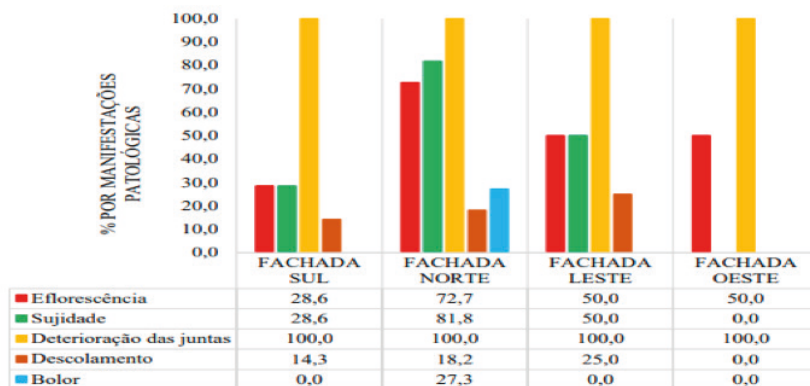


Figura 12 - Tipologias de manifestações patológicas por direção de fachada - Edifício A.

A deterioração das juntas é incidente em 100% dos planos de fachadas da direção sul. Além disso, essa direção também possui eflorescência, presente em 28,6% dos planos de fachadas, sendo esses S4 e S7. Em S4, por exemplo, a eflorescência foi observada principalmente nas arestas da platibanda (Figura 13).

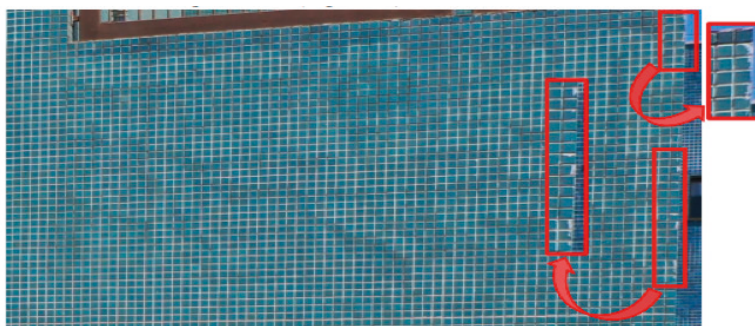


Figura 13 - Eflorescência em regiões de S4.

Já em S7, a sujidade foi percebida em uma pequena região no segundo e no 17º pavimento. A direção norte é a única que apresenta todos os cinco tipos de manifestações patológicas encontradas no edifício A. Juntas deterioradas, por exemplo, foram localizadas em todos os planos de fachadas da direção, seja somente na platibanda, como em N3, N4 e N5, ou ao longo de sua área, como em N6, N8 e N11.

Ainda, há uma parcela significativa, em torno de 82%, de planos de fachadas que apresentam sujidades, sendo essa a segunda tipologia de manifestação patológica com maior incidência na direção norte, estando presente em regiões abaixo dos peitoris das janelas e nas juntas de assentamento, conforme Figura 14.

Outra tipologia de manifestação patológica que afeta a direção norte é a eflorescência, presente em 72,7% dos planos de fachadas dessa direção, se apresentando em forma de pequenos véus com cor esbranquiçada, sendo vista principalmente em N6 e N9.

Em N6, por exemplo, foi localizada no primeiro e nos três últimos pavimentos, além da platibanda, conforme visto na Figura 14, em que é possível perceber que a eflorescência se manifesta em pequenos pontos, majoritariamente no lado esquerdo do plano. Já em N9, esse problema patológico é visível em sete pavimentos e na platibanda.

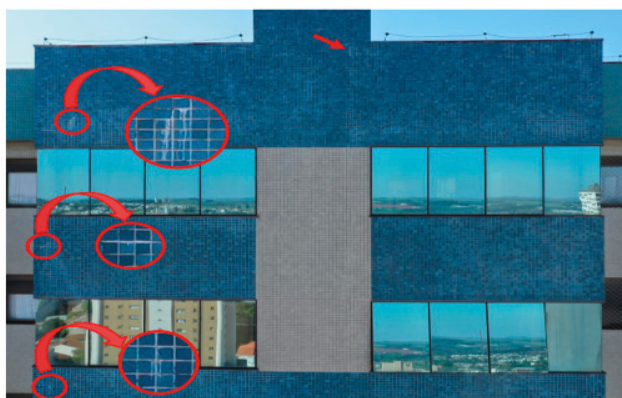


Figura 14 - Eflorescências no 17º e 18º pavimento e na platibanda de N6.

A direção oeste apresenta a menor incidência, comparada às outras direções, de tipologias de manifestações patológicas, possuindo apenas eflorescências e juntas deterioradas. O plano O4 apresenta a maior quantidade desse problema patológico, presente por toda a extensão da fachada, conforme ilustrado na Figura 15, em que as juntas com coloração escurecida demonstram as falhas de rejunte.



Figura 15 - Juntas deterioradas em região do 17º pavimento de O4

A eflorescência está presente em 50% dos planos de fachadas da direção oeste. Em O2, por exemplo, essa manifestação patológica está localizada em regiões do segundo pavimento, apresentando aspecto pulverulento e forma de véu, conforme a Figura 16.

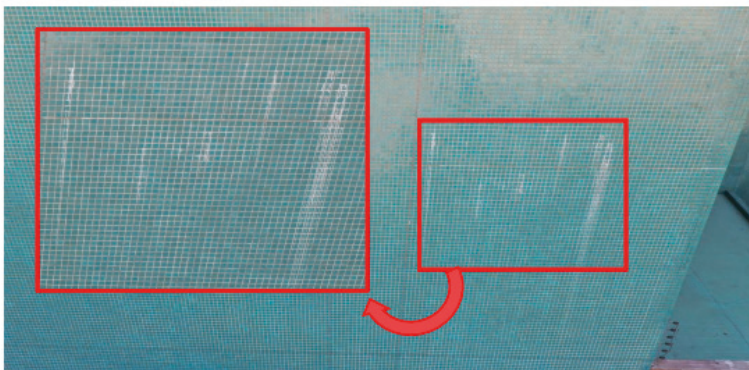


Figura 16 - Eflorescência localizada em O2

Quanto à direção leste, 100% dos planos de fachadas apresentam deterioração das juntas, sendo que em L1 e L2 afetam apenas regiões da platibanda e em L3 e L4 acometem, além da platibanda, locais ao longo do plano da fachada, com grande intensidade.

Em 50% dos planos de fachadas da direção leste foram visualizadas eflorescências, sendo eles L1 e L4. Em L1, por exemplo, a eflorescência se manifesta no primeiro, terceiro, oitavo e 17º pavimento, já em L4, a eflorescência está localizada em uma pequena região próxima à janela do quinto pavimento, conforme se verifica na figura 17.

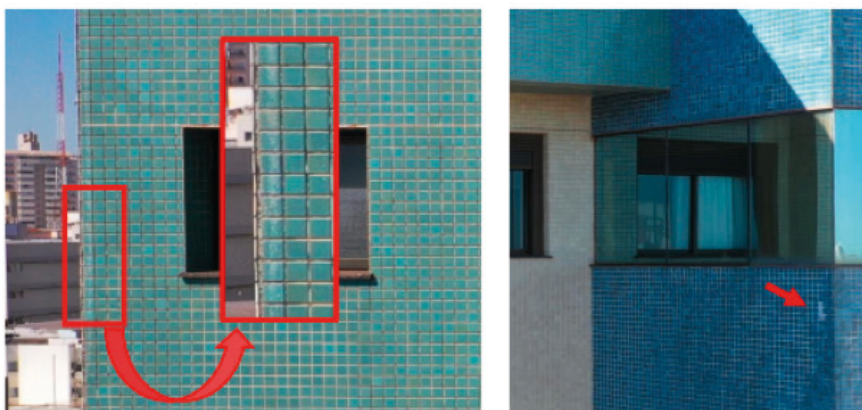


Figura 17 – Imagens das eflorescências na fachada leste.

Edificação B

Na Edificação B de forma geral há a presença de manifestações patológicas que podem alterar o desempenho do imóvel, como as eflorescências, e outras que só afetam a estética das fachadas, como as sujidades. A Figura 18 apresenta a incidência das tipologias de manifestações patológicas encontradas no edifício B e o número de planos de fachada que acometem.

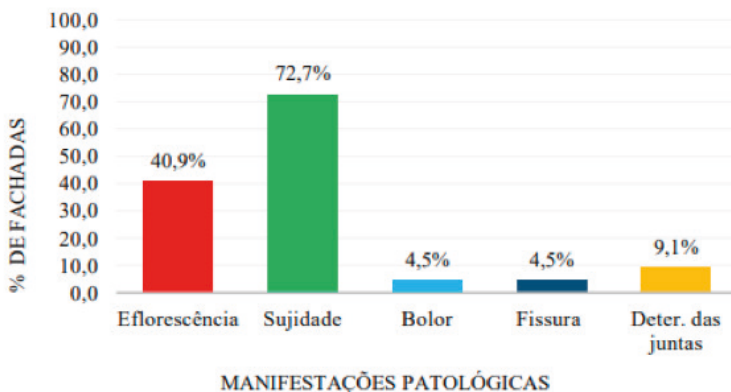


Figura 18 - Tipologias de manifestações patológicas no Edifício B.

A sujidade é a tipologia de manifestação patológica com maior ocorrência no edifício B, presente em 72,7% dos planos de fachadas, majoritariamente nas fachadas principais, ou seja, aquelas voltadas para as vias públicas, e não necessariamente nos demais planos de fachadas.

As eflorescências foram localizadas em todas as direções, afetando 40,9% dos planos de fachadas. Na direção sul, por exemplo, é possível observar esse problema patológico em todos os planos de fachadas, ao contrário do que acontece na direção oeste, que só apresenta um alinhamento com eflorescência. A eflorescência, de forma geral, se mostra presente nas juntas de assentamento das placas cerâmicas, possuindo coloração esbranquiçada.

Foi possível constatar que as fachadas revestidas com pastilha cerâmica na cor azul escura apresentam uma proporção superior de eflorescências se comparado às sujidades, sendo o inverso observado nas fachadas revestidas com pastilhas na cor branca. Uma possível explicação seria o contraste entre as tonalidades, ou seja, as pastilhas de cor escura dão maior contraste com a cor branca da eflorescência, sendo fácil identificá-las. Já as pastilhas brancas não contrastam com a eflorescência, por serem da mesma cor, mas sim com as sujidades, devido ao fato destas apresentarem coloração escura.

Nesse sentido, foi possível identificar regiões com eflorescência em todas as fachadas com revestimento escuro e em nenhuma com revestimento branco. Na Figura 19 é possível visualizar o contraste da sujidade com as pastilhas da cor azul escura e branca.

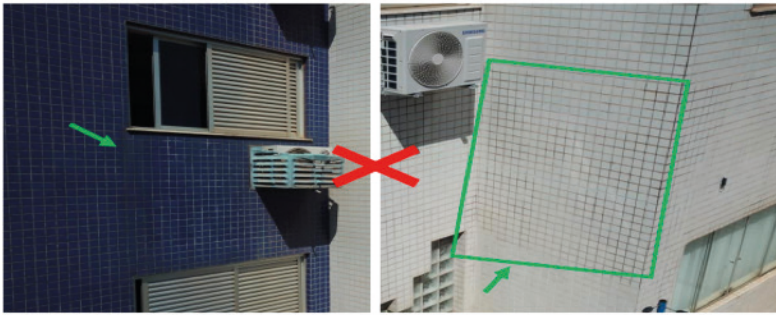


Figura 19 - Contraste entre a pastilha cerâmica de cor escura e a sujidade em pastilhas de cor clara.

A presença de eflorescências foi identificada nos planos próximos à entrada social, e ainda uma região com estufamento do revestimento cerâmico na região da entrada de veículos e próximo a piscina do condomínio, conforme Figura 20.



Figura 20 - Eflorescências nos muros e Estufamento do revestimento cerâmico no muro da edificação B.

A Figura 21 apresenta a incidência das tipologias de manifestação patológica em cada direção de fachada.

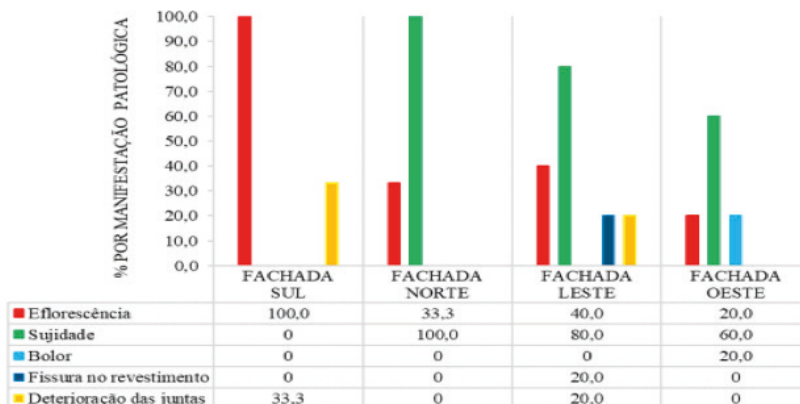


Figura 21 - Manifestações patológicas por direção de fachada - Edificação B.

Na direção oeste, a sujidade é a manifestação patológica mais incidente, estando presente em 60% dos planos de fachadas. Em O3, observa-se que as juntas de assentamento das pastilhas cerâmicas apresentam-se com sujidade, mas somente até a altura do sétimo pavimento. Uma região com bolor foi constatada também na direção oeste (O3), localizada próximo ao ar-condicionado do nono pavimento, sendo esse o único local do edifício que apresentou essa tipologia de manifestação patológica, conforme se verifica na Figura 21.

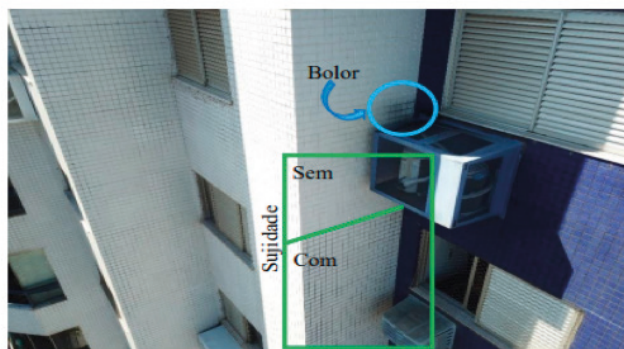


Figura 21 - Sujidades e região embolorada no plano de fachada O3.

A eflorescência também foi visualizada em apenas um plano de fachada da direção oeste, na platibanda de O4. Quanto à direção sul, como as fachadas são revestidos majoritariamente por pintura, o estudo se concentrou apenas nos detalhes arquitetônicos presentes nas fachadas S1 e S3. Neste sentido, identificaram-se regiões com eflorescência, em ambas as fachadas, e um ponto com deterioração das juntas na fachada S1 (Figura 22).

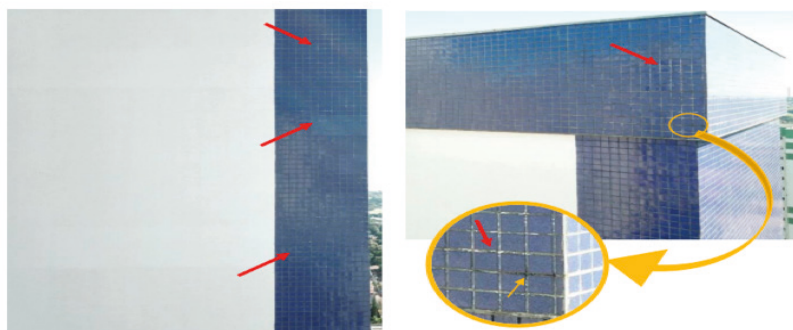


Figura 22 – Eflorescências e deterioração das juntas na fachada S1.

Na direção norte foi observado, em todas as fachadas, sujidade nas juntas de assentamento, sendo evidente abaixo do peitoril das janelas e dos aparelhos de ar-condicionado, com aspecto de escorrimento. A eflorescência também foi verificada na direção norte, incidindo em 33,3% dos planos de fachadas dessa direção. Em N1, localiza-se abaixo do ar-condicionado do 11º pavimento. A Figura 23 apresenta estas manifestações.



Figura 23 - Sujidade nas fachadas N3 e N4 e Eflorescência em N1.

A direção leste é a que apresenta o maior número de manifestações patológicas, com a presença de quatro das cinco tipologias encontradas na edificação B. A sujidade, por exemplo, incide em 80% dos planos de fachadas da direção leste, sendo eles L1, L2, L3 e L4.

Em L1, observou-se manchas de sujidade, abaixo dos guarda-corpos metálicos dos balanços, além de deterioração das juntas de assentamento na sacada do 13° e do 15° pavimento tipo. Já no plano de fachada L3, além da sujidade, identificou-se uma pastilha cerâmica com a face fissurada, na altura do sexto pavimento. Em L4 a sujidade se apresenta em manchas escuras, com aspecto de escorrimento, no entorno da placa metálica que traz a identificação do edifício, conforme se verifica na Figura 24.



Figura 24 - Deterioração da junta, e fissura nas placas cerâmicas presente na fachada L1 e Eflorescência e sujidade na N9 e fissura na L3.

Comparação entre as fachadas das direções leste e oeste

Considerando que as fachadas que estão nas direções leste e oeste são as que recebem incidência solar nas primeiras e nas últimas horas do dia, respectivamente, devido à direção do nascer e do pôr do sol, essas serão utilizadas como comparação entre as edificações.

Na edificação A, por exemplo, não há como afirmar a predominância de alguma manifestação patológica, nas direções leste ou oeste. Porém, é fato que as pastilhas cerâmicas da direção leste, principalmente na fachada L2, que recebe a incidência dos raios solares por toda sua área durante boa parte do período da manhã, apresentam tonalidade diferente, com cor desbotada e aparência mais desgastada, se comparada às pastilhas com mesma coloração dispostas nas fachadas norte e sul, conforme observado na Figura 25.

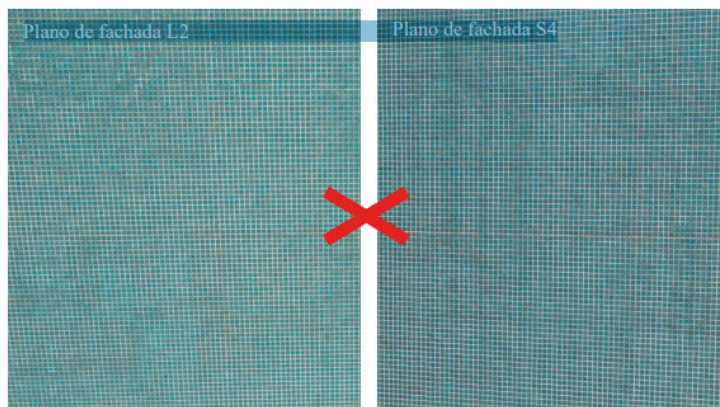


Figura 25 - Comparação entre o revestimento de L2 e de S4.

Na Edificação B também é perceptível a diferença da aparência do revestimento da direção leste, principalmente em L4, se comparado ao das direções sul e norte, por exemplo. A Figura 26 ilustra a diferença de tonalidade, sendo possível perceber a cor desbotada das pastilhas cerâmicas em L4 se comparada à N1.

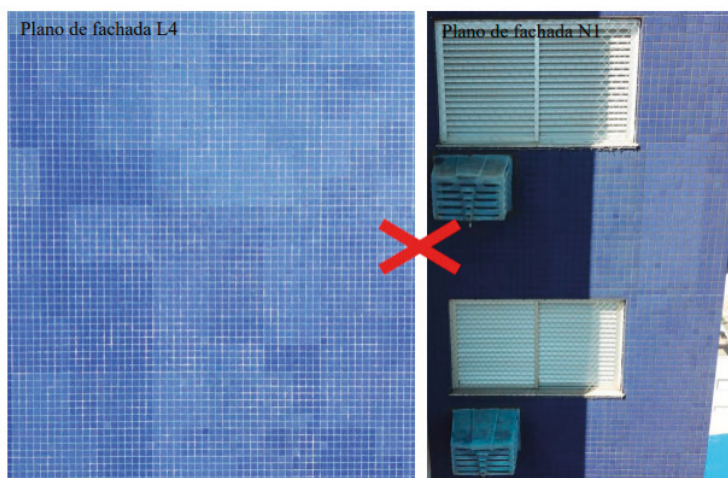


Figura 26 - Comparação entre o revestimento de L4 e de N1.

O revestimento cerâmico de coloração mais escura terá maior mudança de tonalidade, ou seja, será mais perceptível o desbotamento, em comparação aos revestimentos com coloração mais clara, ambos estando na mesma direção. Isso é visível ao analisar os demais planos de fachadas da direção leste, revestidos com pastilhas cerâmicas da cor branca, em que o revestimento não perdeu a tonalidade cor.

Comparação entre as fachadas das direções norte e sul

No que se refere à fachada norte, essas possuem a maior probabilidade de apresentarem tipologias de manifestações patológicas influenciadas pela insolação, somado ao fato da cidade de Cascavel-PR se encontrar em uma região com elevada incidência solar. Ao analisar as tipologias de manifestações patológicas nas fachadas da edificação A, observou-se que apenas a direção norte apresentou a ocorrência de bolor. Isso ocorreu em três dos 11 planos dessa direção.



Figura 27 - Ocorrência de bolor na região da direção norte – Edificação A.

Considerando que a direção norte recebe a maior exposição diária dos raios solares, espera-se que haja mais iluminação e menos umidade, dificultando a proliferação do bolor. Porém, não é possível estabelecer uma relação direta entre a presença de bolor nos planos de fachada da direção norte e a posição solar. Contudo, o que se pode deduzir é que a região embolorada está localizada próxima a uma laje, passível de acumular água e dificultar a dissipação da umidade, criando assim um ambiente favorável para a colonização dos fungos.

A sujidade, apesar de ter apresentado a maior incidência na direção norte e menor na sul, não está necessariamente relacionada com a exposição solar, uma vez que sua ocorrência depende de outros fatores ambientais, como a poluição atmosférica e a proximidade com fontes de sujeiras. Assim como a sujidade, as eflorescências, na edificação A, também possuem maior incidência na direção norte e menor na direção sul. Contudo, não é possível relacionar esse problema à posição solar, uma vez que sua ocorrência depende de fatores como a composição química e a umidade infiltrada nos materiais utilizados na construção, e a capacidade de transporte dos sais através dos poros do material.

No que diz respeito à edificação B, a direção norte apresenta a maior incidência de sujidade, à medida que 100% de seus planos de fachadas contêm essa manifestação patológica. Nessa edificação a direção norte B também é caracterizada por estar próxima a via pública, estando mais exposta, se comparado às demais fachadas, à poluição expelida pelos veículos. Como os planos de fachadas da direção norte apresentam janelas, a sujidade pode se acumular nos peitoris e, com a ação da chuva, suas partículas são arrastadas, formando as manchas escurecidas, como pode ser observado na Figura 28.



Figura 28 - Sujidades na direção norte da Edificação B.

Além da sujidade, também se observou regiões com eflorescência nos planos de fachadas da direção norte, contudo, essa tipologia de manifestação patológica não pode ser relacionada somente à exposição solar. Quanto à direção sul da edificação B, é observada uma maior ocorrência de eflorescências e juntas deterioradas, se comparada às demais direções, sendo a platibanda o elemento mais afetado. Tal fato pode ser associado à ação da chuva, considerando que a platibanda recebe a água em ambas as faces, somada à posição dos planos de fachadas sul, que ganham pouca incidência de raios solares durante o dia, fazendo com que esses elementos retenham umidade, favorecendo a formação de eflorescências e a degradação das juntas de assentamento.

Considerações quanto ao uso do VANT

De maneira geral, o uso do VANT para realização de inspeções prediais é uma técnica vantajosa. Uma das vantagens em utilizar o VANT é o fator tempo, ou seja, é possível capturar uma quantidade considerável de fotografias em um curto espaço de tempo. As vistorias realizadas nesse estudo duraram, em média, duas horas e meia em cada edificação, considerado o voo propriamente dito e os ajustes necessários, como a calibragem do equipamento e a troca de baterias. Mas, a carga das baterias pode ser considerada um empecilho, devido ao fato de que, dependendo das condições climáticas e da área de fachadas vistoriada, ser necessário uma recarga.

A economia de recursos pessoais e de equipamentos e ferramentas também podem ser consideradas uma vantagem, já que não é necessário a utilização de andaimes, cadeirinhas ou outros acessórios para auxiliar nas em áreas de elevadas alturas.

Outra vantagem diz respeito à qualidade das imagens. As imagens das manifestações patológicas obtidas nesse estudo foram de qualidade superior e com nitidez suficiente para as análises, mesmo considerando as de difícil visualização. O VANT também dispõe de câmara que pode ser ajustada de forma a capturar melhor e com mais nitidez as imagens. No caso das fachadas, o equipamento permitiu que houvesse ajuste para capturar imagens com angulação em relação ao plano da fachada.

Outro parâmetro que deve ser observado durante a vistoria é a distância entre o equipamento e o objeto, de maneira que quanto mais perto o VANT estiver do plano de fachada, maior a riqueza de detalhes da imagem. Durante a vistoria percebeu-se que a distância ideal é entre dois metros, para garantir a segurança do equipamento, e cinco metros, para que seja possível aplicar zoom na imagem sem perder a nitidez. Porém parâmetros como intensidade do vento e vizinhança devem também ser analisados.

Quanto ao espaço para a decolagem e o pouso do VANT, podem ser considerados como vantagens em utilizá-lo, devido à possibilidade de iniciar o voo em lugares com pouco espaço livre, desde que se garanta a segurança do equipamento, mantendo-o distante, no mínimo, dois metros de obstáculos físicos. Na edificação C, por exemplo, a decolagem e o pouso do VANT, para realizar o levantamento nos planos de fachada da direção oeste, foram realizados em uma pequena área próxima a esses planos, conforme observado na Figura 29.

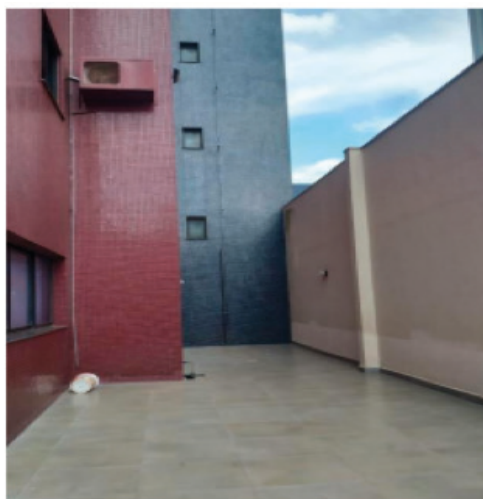


Figura 29 - Espaço de pouso e decolagem do VANT na edificação C.

O VANT pode ser considerado um equipamento eficiente, contudo, o operador é uma figura central, pois será o responsável por contornar as adversidades que podem surgir durante o voo. A perda de sinal do VANT com o operador, por exemplo, é comum de acontecer quando o levantamento é realizado próximo a áreas com interferência de sinal, devido a uma aglomeração de dispositivos de rede. Tal fato ocorreu durante a varredura pelo plano de fachada O4 da edificação B, em que o piloto precisou retomar o sinal para continuar o levantamento.

As condições climáticas também interferem no voo, de forma que este não pode ser realizado em dias chuvosos e com ventos fortes, a fim de garantir a segurança do equipamento e das pessoas próximas. A cidade de realização do estudo, por exemplo, é caracterizada por apresentar ventos de alta intensidade, que podem dificultar, em alguns momentos, o levantamento com o VANT.

Além das condições ambientais, também se têm o efeito da turbulência do vento em regiões entre edificações próximas e de elevadas alturas, conhecido como Efeito Venturi, que consiste no afunilamento das correntes de vento entre dois objetos, de maneira que a massa de ar flui com uma maior velocidade, dificultando o controle sobre o equipamento (BRANDÃO, 2020). Esse efeito foi percebido durante a tentativa de voo pelo plano de fachada O4 da edificação C, devido ao fato desse alinhamento estar a uma distância pequena de uma edificação vizinha, conforme observado na Figura 30, não sendo possível, portanto, realizar a vistoria desse plano de fachada, a fim de preservar e manter a segurança do equipamento.



Figura 30 - Edificação C em relação à vizinha.

Outras adversidades podem dificultar, ou até mesmo impedir, a realização do voo, é a presença de obstáculos físicos próximos às fachadas, conforme visualizada na Figura 31. Na edificação A, por exemplo, uma vegetação próxima à fachada S4 impediu a captura de imagens, com o VANT, da porção inferior deste plano. Outro exemplo também é a presença de fiação da rede elétrica próxima aos seus planos de fachada, que não impediu a realização do voo, mas exigiu experiência do piloto para realizar o levantamento de forma a manter a segurança do equipamento e das pessoas próximas.



Figura 31 - Vegetação próxima às fachadas da direção sul na edificação e Fiação da rede elétrica próxima aos planos de fachadas da direção norte.

Apesar das vantagens, a utilização do VANT para realizar inspeções prediais ainda é uma pouco utilizada. Porém, o cenário está sofrendo mudanças devido ao incremento de empresas especializadas nessa metodologia em todo o país. Empresas estão se especializando e investindo em equipamentos modernos para realizar vistorias e manutenções mais especializadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa possibilitou analisar a frequência de cada tipologia de manifestação patológica, sendo que, nos edifícios analisados, observou-se que a eflorescência, a deterioração das juntas e a sujidade são as que mais acometem as fachadas com revestimento cerâmico.

Quanto à posição solar das fachadas, não é possível relacioná-las com as tipologias de manifestações patológicas encontradas, uma vez que cada edificação estudada apresenta suas particularidades. No entanto, observou-se que a face dos revestimentos cerâmicos posicionados na direção leste tende a sofrer deterioração do esmalte, resultando na aparência desbotada das pastilhas, podendo tal fato ser associado com a incidência dos raios solares nessas regiões durante o período matutino.

Considerando que a presença das manifestações patológicas nas fachadas pode causar desconforto estético e insegurança aos usuários, é de grande valia a realização periódica de manutenções.

Quanto à metodologia, pode-se afirmar que o modelo de VANT utilizado traz benefícios à vistoria predial, de maneira que essa se torna menos onerosa, em quesitos monetários e de pessoal, se comparado às técnicas tradicionais. Além disso, é possível visualizar a incidência de manifestações patológicas por toda a extensão da edificação. Portanto, ao associar a metodologia com a periodicidade das vistorias, têm-se subsídios para definir a conduta a ser tomada, de maneira a solucionar os problemas patológicos, contribuindo para elevar os níveis de desempenho da edificação, além de majorar sua durabilidade e vida útil.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, G. Inspeção predial de fachadas com drones à luz da ABNT NBR 5674:2012. Viva o condomínio. 2018. Disponível em: https://vivacondominio.com.br/ptype_news/inspecao-predial-de-fachadas-com-drones-a-luzda-abnt/. Acesso em: 28 jan. 2022.
- BRANDÃO, H. Identificação de manifestações patológicas em fachadas por meio de VANTS – aplicação ao prédio novo da engenharia. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2020.
- COSTA, M. S. Identificação de danos em fachadas de edificações por meio de imagens panorâmicas geradas por plataforma robótica fotográfica. 2014. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- GRANEMANN, E. Novos tempos nos céus do Brasil. Revista Técnica de Avaliações e Perícias, Curitiba, n. 1, 1. ed., p. 24-26, julho 2017.
- LISBOA, D. W. B. et al. Utilização do VANT na inspeção de manifestações patológicas em fachadas de edificações. In: Congresso Técnico e Científico da Engenharia e da Agronomia, 2018, Maceió.
- MEDEIROS, J. S.; SABBATINI, F. H. Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios. Boletim técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PCC/246, São Paulo, p. 1-27, 1999.
- MORAIS, L. S. de; SILVA, P. C. M. da; MEDEIROS, W. D. de A. Análise do processo de verticalização na área urbana do município de Mossoró-RN: aspectos jurídicos e ambientais. Revista verde de agroecologia e desenvolvimento sustentável, Mossoró, v. 2, n. 2, p. 171- 182, jul./dez. 2007.
- PADILHA JR, M. et al. Levantamento quantitativo das patologias em revestimentos cerâmicos em fachadas de edificações verticais na cidade de João Pessoa – PB. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, 2007, João Pessoa.
- SABBATINI, F. H. Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos – formulação e aplicação de uma metodologia. 1989. Tese (Doutorado em Engenharia Civil); Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- TONDELO, P. G.; BARTH, F. Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT. PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção, Campinas, v. 10, p. e019009, fev. 2019, ISSN 1980-6809. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.org/journals/parc/article/view/8652817>. Acesso em: 02 jun. 2022.

CAPÍTULO 6

PLANEJAMENTO DE TRAJETÓRIA COM OBSTÁCULOS PARA MANIPULADORES ROBÓTICOS COLABORATIVOS, INSTANCIADO EM EDUCAÇÃO UNIVERSITÁRIA

Data de aceite: 26/08/2024

Márcio Mendonça

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná ; PPGEM-CP - Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica PP/
CP, Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/5415046018018708>

Fabio Rodrigo Milanez

UniSENAI PR Campus Londrina
Londrina-PR
<http://lattes.cnpq.br/3808981195212391>

Francisco de Assis Scannavino Junior

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio - Pr
<http://lattes.cnpq.br/4513330681918118>

Henrique Cavalieri Agonilha

Graduando na Universidade Filadélfia
(Unifil), Londrina - PR
<http://lattes.cnpq.br/9845468923141329>

Angelo Feracin Neto

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná, Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/0580089660443472>

Marcio Jacometti

Universidade Tecnológica Federal do
Paraná , Departamento acadêmico das
ciências humanas e sociais aplicadas
(DACHS), Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8509336134084374>

Vicente de Lima Gongora

UniSENAI PR Campus Londrina
Londrina – PR
<http://lattes.cnpq.br/6784595388183195>

Bruno Oliveira Rosa

Acadêmico - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná Departamento
Acadêmico de Engenharia Elétrica
(DAELE)
<http://lattes.cnpq.br/5010826876808074>

Marcos Antônio de Matos Laia

Universidade Federal de São Joao Del Rei
Departamento De Ciência Da Computação
– UFSJ
<http://lattes.cnpq.br/7114274011978868>

Claudiane Olímpio da Silva

Escola Municipal Alvorada- Cambé - Pr
<http://lattes.cnpq.br/1224239123093049>

Roseli Lopes Fernandes de Almeida

Escola Municipal Alvorada- Cambé - Pr
<http://lattes.cnpq.br/8184743559589424>

José Augusto Fabri

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Computação (DACOM)
Cornélio Procópio - PR
<http://lattes.cnpq.br/1834856723867705>

Emerson Ravazzi Pires da Silva

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Elétrica Daele
Cornelio Procopio
<http://lattes.cnpq.br/0797649979829091>

Marcos Banheti Rabello Vallim

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Acadêmico de Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/2326190172340055>

Rodrigo Rodrigues Sumar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Departamento Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/1461760661483683>

Mateus Henrique De Oliveira Louro

Acadêmico - Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de
Engenharia Elétrica (DAELE)
Cornélio Procópio – PR
<http://lattes.cnpq.br/8431748067658674>

Roberto Bondarik

Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento de Ciências Humanas e
Sociais (DACHS)– Cornélio Procópio - Pr
<http://lattes.cnpq.br/6263028023417758>

RESUMO: Neste trabalho, o objetivo é apresentar redes neurais artificiais (RNAs) para resolver a cinemática inversa de um manipulador robótico de 2 graus de liberdade (DOF). Além disso, foi incluída uma árvore de decisão para aumentar a segurança do braço robótico em movimento quando um objeto aparece em sua trajetória. A árvore de decisão oferece duas alternativas: desviar do obstáculo acrescentando um ponto ou, caso não seja possível, parar e esperar a desobstrução, similar ao comportamento de robôs colaborativos que trabalham ao lado de seres humanos. O planejamento de trajetórias utilizou um polinômio de quinto grau, que se mostrou uma solução plausível. Os resultados obtidos foram promissores, indicando que a combinação de RNA com uma estratégia de segurança foi mais robusta. O trabalho se encerra com uma conclusão e sugestões para futuros estudos.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas Computacionais Inteligentes, Robótica Cognitiva, Robótica, Educação Universitária.

TRAJECTORY PLANNING WITH OBSTACLES FOR COLLABORATIVE ROBOTIC MANIPULATORS, INSTANCED IN UNIVERSITY EDUCATION

ABSTRACT: This work aims to present artificial neural networks (ANNs) to solve the inverse kinematics of a 2 degrees of freedom (DOF) robotic manipulator. Furthermore, a decision tree included to increase the safety of the moving robotic arm when an object appears in its trajectory. The decision tree offers two alternatives: avoid the obstacle by adding a point or, if this is not possible, stop and wait for cleared, like the behaviour of collaborative robots that work alongside humans. Trajectory planning used a fifth-degree polynomial, which proved to be a plausible solution. The results were promising, indicating that combining RNA with a security strategy was more robust. The work ends with a conclusion and suggestions for future studies.

KEYWORDS: Intelligent Computational Systems, Cognitive Robotics, Robotics. University Education.

INTRODUÇÃO

A robótica, um campo profundamente fascinante, tem se tornado uma força transformadora em diversos setores, incluindo a produção industrial, exploração espacial e medicina entre outras áreas de pesquisa. Dentro deste domínio expansivo, a pesquisa sobre manipuladores robóticos destaca tópicos cruciais, notadamente o planejamento de trajetória — um processo meticuloso que define o caminho ideal para um robô se mover de um ponto inicial até seu destino, conforme detalhado por SOU et al. (2006).

Verdadeiras mudanças no comportamento global têm ocorrido com o surgimento dos *chatbots*, como por exemplo, o *ChatGpt* que surgiu a pouco mais de 2 anos e tem dividido a comunidade científica em Inteligência Artificial Fraca e Forte, ao menos um consenso de que estamos nos aproximando da I.A. Forte já existe com as versões cada vez mais poderosas dessas ferramentas. Maiores detalhes podem ser conferidos no artigo/capítulo de livro na Editora Atena, *Evolução da Inteligência Artificial: da IA Fraca à IA Forte Na era dos Chatbots*, com instanciações na Educação (Mendonça, et al, 2024)

Já a área de planejamento de trajetória e a robótica colaborativa são conceitos fundamentais no estudo de manipuladores robóticos, conforme enfatizado por UNHELKAR e SHAH (2015). Recentemente, os avanços na robótica têm ampliado as aplicações dos robôs na manufatura, estendendo-se para os processos de montagem final. O trabalho de KRÜGER, LIEN e VERL (2009), que inspirou esta investigação, oferece um estudo abrangente sobre o uso de robôs em linhas de montagem.

A robótica colaborativa, também conhecida como robótica assistida ou robótica de segurança, foca no desenvolvimento de robôs que podem trabalhar de forma segura e eficiente ao lado de humanos (CORDEIRO, 2022). A Organização Internacional para Padronização (ISO) define a robótica colaborativa como “a aplicação de robótica onde um robô e um operador humano trabalham juntos em um espaço compartilhado para realizar uma tarefa” (ISO 10218-3:2016). As principais características de segurança dos robôs colaborativos incluem:

- Velocidade e força reduzidas para evitar colisões; sensores para detectar a presença de humanos; modos de operação que permitem ao operador assumir o controle em emergências (OLIVEIRA, 2022).

Aplicações dos robôs colaborativos: montagem e manufatura, logística e transporte, saúde, agricultura e horticultura, pesquisa e desenvolvimento.

Benefícios para as empresas: aumento da produtividade, melhoria da segurança, redução de custos, flexibilidade de produção.

De modo resumido: Robôs colaborativos operam com segurança, podendo ser controlados por humanos em emergências. Suas aplicações abrangem diversos campos como manufatura, logística, saúde, agricultura e pesquisa. Os benefícios incluem maior produtividade, segurança, redução de custos e flexibilidade.

No entanto, problemas clássicos da robótica, como a cinemática, permanecem significativos. A cinemática é um método comum para analisar o movimento dos manipuladores robóticos e inclui dois tipos: cinemática direta, que determina a posição do efector final a partir das posições das juntas, e cinemática inversa, que determina as posições das juntas a partir da posição do efector final. A cinemática inversa, conforme descrito por Mendonça et al. (2020), é desafiadora devido ao seu potencial para múltiplas soluções e equações não lineares. Métodos comuns para resolver esse problema incluem abordagens algébricas, geométricas e iterativas, embora possam ser inadequados para manipuladores com muitos graus de liberdade.

Uma alternativa para resolver a cinemática inversa é o uso de redes neurais artificiais (RNA). As RNA são capazes de aprender a partir de dados e podem ser adaptadas a diferentes sistemas.

Em algumas aplicações, é necessário que o manipulador robótico tenha precisão superior à permitida por um manipulador com o número mínimo de graus de liberdade. Nesses casos, são utilizados manipuladores redundantes, que têm mais graus de liberdade do que o necessário para realizar a tarefa.

Um exemplo de robô denominado colaborador, denominados de *CoBot*, uma notável inovação oriunda da renomada *Carnegie Mellon University*, representa um avanço significativo no campo da robótica autônoma, como mostra a figura 1.



Figura 1– Exemplo de Robô Colaborativo (COBOT)

Além disso, figura 1 descreve uma mulher usando óculos de proteção e roupas de trabalho, manipulando um robô colaborativo em um ambiente industrial. O robô possui um braço articulado com várias juntas e está equipado com diversos cabos e componentes eletrônicos. No fundo, há várias peças metálicas organizadas em uma linha de produção automatizada. O cenário indica um ambiente de fabricação ou montagem, onde a robótica colaborativa está sendo utilizada para melhorar a eficiência e precisão das operações.

DESENVOLVIMENTO MUNDIAL: DA ROBÓTICA COLABORATIVA

A robótica colaborativa, frequentemente referida por “cobots”, refere-se a robôs projetados para trabalhar em conjunto com seres humanos em um ambiente compartilhado. Ao contrário dos robôs industriais tradicionais, que muitas vezes são isolados dos trabalhadores humanos por razões de segurança, os cobots são projetados para serem seguros e flexíveis, permitindo a colaboração direta entre máquinas e humanos. Desde o início da sua concepção, a área da robótica colaborativa tem presenciado avanços significativos, e aqui estão alguns pontos-chave sobre o seu desenvolvimento mundial:

Origens: Os primeiros cobots foram introduzidos na década de 1990 como uma forma de ajudar os humanos em tarefas de manufatura. Eles foram projetados para serem intrinsecamente seguros, usando sensores para detectar e responder à presença humana.

Tecnologia e Segurança: Com o avanço dos sensores e da inteligência artificial, os cobots tornaram-se mais sensíveis ao ambiente ao seu redor. Eles são equipados com características como limitação de força e parada de emergência para evitar ferimentos em humanos.

Aplicações Expandidas: Enquanto os cobots inicialmente encontraram aplicações na manufatura, eles agora são usados em uma variedade de indústrias, incluindo saúde, logística, agricultura e serviços.

Aceitação e Crescimento: Nos anos 2010, a adoção de cobots começou a crescer rapidamente à medida que as empresas reconheceram o valor de ter robôs trabalhando ao lado de humanos. O mercado global de cobots tem testemunhado um crescimento robusto, com previsões otimistas para o futuro.

Normas e Regulamentações: A segurança é uma grande preocupação na robótica colaborativa. Organizações internacionais, como a ISO, estabeleceram normas específicas (por exemplo, a ISO/TS 15066) para garantir a segurança dos cobots.

Avanços em Interfaces Humano-Robô: Para que os cobots sejam verdadeiramente colaborativos, as interfaces de usuário devem ser intuitivas. Há um foco contínuo no desenvolvimento de interfaces que facilitam a programação, treinamento e interação dos cobots.

Desafios Futuros: Ainda existem desafios para os cobots, incluindo melhorar a sua capacidade de aprender com os humanos, aprimorar a sua percepção do ambiente, e garantir que eles sejam economicamente viáveis para pequenas e médias empresas.

Impacto Socioeconômico: Como toda tecnologia disruptiva, os cobots têm o potencial de redefinir empregos e funções no ambiente de trabalho. Há discussões contínuas sobre como garantir que a introdução de cobots beneficie a sociedade como um todo.

Em suma, a robótica colaborativa representa uma interseção fascinante da tecnologia com a sociologia e a economia. À medida que os cobots continuam a evoluir e a se tornar mais integrados em diversos setores.

FUNDAMENTAÇÃO

Nesta seção são apresentados os conceitos de Educação na Robótica (em especial, universitária) de manipuladores robóticos, planejamento de trajetória e robótica colaborativa. Além disso, discutimos brevemente as técnicas de RNA usadas para a calibração do manipulador.

A robótica na educação universitária utiliza a construção e programação de robôs para promover o aprendizado em disciplinas como matemática, ciências, engenharia e tecnologia. **Benefícios:** Desenvolvimento de habilidades técnicas (programação e engenharia), estímulo ao pensamento crítico e resolução de problemas, engajamento e motivação, desenvolvimento de habilidades sociais e de trabalho em equipe, e preparação para o futuro. **Programas de robótica:** LEGO Mindstorms, VEX Robotics, FIRST Robotics. **Desafios:** Custo, formação de professores, acesso e inclusão. **Implementação:** Incorporar no currículo, criar clubes e atividades extracurriculares, parcerias com organizações e treinamento para professores.

A robótica na educação universitária transforma o aprendizado, tornando-o mais dinâmico, envolvente e relevante como por exemplo, várias universidades nos EUA oferecem graduações em robótica, mas muitos programas não ensinam práticas essenciais de engenharia de software de forma explícita. Alguns conteúdos são abordados apenas em projetos de longo prazo, o que pode deixar os alunos despreparados para o mercado de trabalho (ZIZYTE, M.; TABOR, T, 2022).

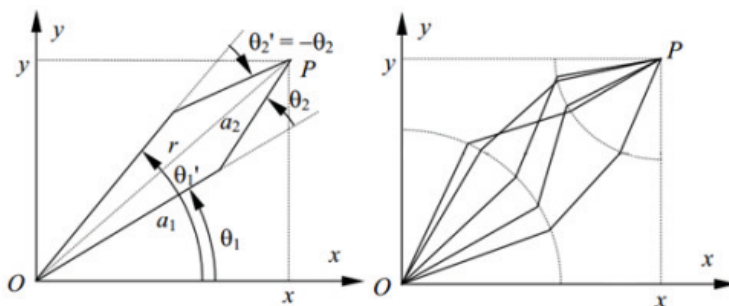


Figura 2. Ilustração do problema das múltiplas soluções.

Robôs precisam ter emergências previstas e programadas para responder adequadamente. A robótica é categorizada em robôs programados e autônomos. Exemplos de robôs complexos como PUMA e Stanford apresentam sistemas avançados que complicam a interação e controle com o ambiente (HU, 2018). Com o uso crescente de manipuladores em diversos setores, a adaptabilidade tornou-se crucial.

A trajetória de um robô não deve ser apenas uma soma de ângulos; a interação com ambientes variáveis requer controladores adaptáveis (ZHANG, WEI, 2017). Sistemas como ANFIS e Redes Neurais Artificiais (RNAs) são usados devido à dificuldade em projetar robôs para ambientes flexíveis e desconhecidos (SICILIANO, KHATIB, 2016). A cinemática inversa apresenta o desafio das múltiplas soluções, especialmente à medida que o número de Graus de Liberdade (GDL) aumenta.

A calibração adequada é vital, como indicado por Kuo et al. (2016). Múltiplas soluções podem surgir na definição da posição de um manipulador, levando a redundâncias. A Figura 2 ilustra isso para manipuladores com 2 e 3 GDL (DALMEDICO, et al, 2018).

Na Figura 2, θ_1 e θ_2 representam os ângulos da primeira e segunda articulações, a_1 e a_2 são os comprimentos das juntas, e P é a posição desejada para a extremidade livre.

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS

As Redes Neurais Artificiais (RNAs), inspiradas em células biológicas, são reconhecidas como aproximadores universais de funções e possuem ampla aplicação em diversas áreas, como previsões de consumo de água e análise econômica, entre outras (DA SILVA et al., 2017). Na engenharia, as RNAs são ferramentas fundamentais para a resolução de problemas complexos, especialmente quando a solução analítica direta não é viável (HAYKIN, 2009).

A capacidade computacional das RNAs decorre de sua estrutura massivamente distribuída e de sua habilidade de aprendizado, o que permite a solução de problemas complexos (HAYKIN, 2009). Entre as características destacadas das RNAs estão a não linearidade, o mapeamento de entrada e saída, a adaptabilidade, a resposta evidencial, as informações contextuais, a tolerância a falhas, a implementação VLSI (Very-Large-Scale-Integration) e a uniformidade na análise e no design (DA SILVA et al., 2017). Esses aspectos serão detalhados nos parágrafos seguintes.

A não linearidade das RNAs é explicada pela presença de estruturas não lineares de neurônios artificiais distribuídos pela rede, essencial para lidar com a não linearidade dos sinais de entrada (HAYKIN, 2009). O mapeamento de entrada e saída é outra característica crucial, onde os pesos sinápticos são ajustados para treinar a rede em tarefas específicas, utilizando amostras aleatórias para minimizar a diferença entre a saída obtida e a resposta desejada (DA SILVA et al., 2017).

A figura 3 mostra uma rede neural artificial canônica com 5 camadas intermediárias, entrada e saída e seus respectivos neurônios conexões.

As RNAs são adaptáveis, capazes de responder a mudanças sutis no ambiente de estudo, o que altera os pesos sinápticos e pode garantir um desempenho robusto em ambientes dinâmicos. Contudo, a adaptabilidade nem sempre garante robustez proporcional. As RNAs também oferecem uma resposta evidencial, proporcionando informações sobre a seleção de padrões e sua confiabilidade, visando aprimorar a classificação e o reconhecimento de padrões (HAYKIN, 2009).

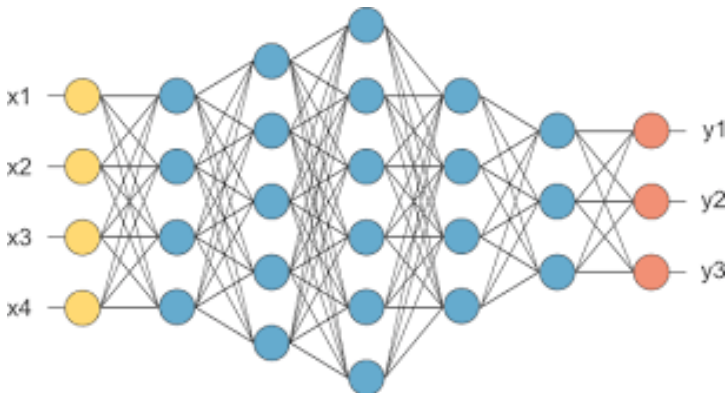


Figura 2. Redes Neurais Artificiais Perceptron.

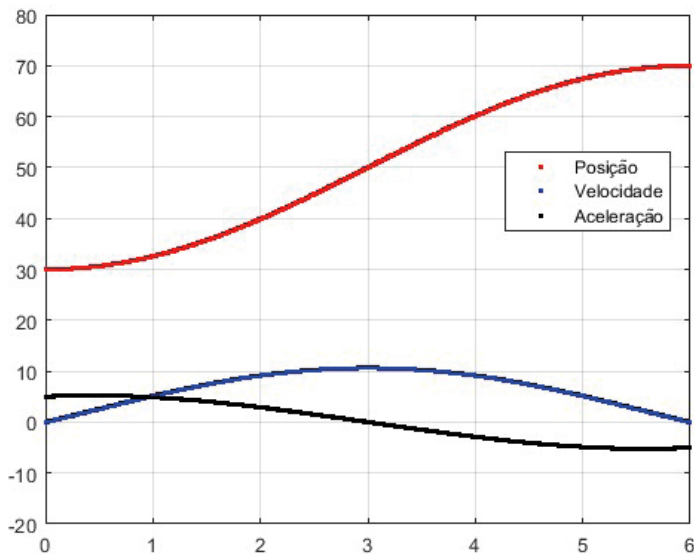


Figura 4. Variáveis no espaço angular de um planejamento sem obstáculo.

O recurso da tecnologia *VLSI* (*Very-Large-Scale-Integration*) permite que as Redes Neurais Artificiais (RNAs) realizem cálculos em paralelo, facilitando a solução de tarefas comportamentais complexas. Já o conceito de uniformidade de análise e *design* envolve a aplicação de uma notação consistente em todos os domínios de uma rede. Isso se manifesta através da integração de neurônios, compartilhamento de teorias e algoritmos entre várias aplicações, e na perfeita integração dos módulos que compõem redes modulares (HAYKIN, 2009).

Os resultados da solução da cinemática inversa podem ser encontrados no trabalho de Mendonça e colaboradores (MENDONÇA et al., 2022). Uma possível solução clássica para o planejamento de trajetória é o polinômio de quinta ordem (NIKU, 2011).

No estudo de Mendonça e colaboradores (2019), são identificados dois tipos distintos de obstáculos: dinâmicos e estáticos. Ao empregar RNAs e o polinômio de quinta ordem mencionado, a solução para um obstáculo dinâmico envolve uma estratégia de parada seguida pela retomada do movimento.

A Figura 4 apresenta o planejamento de uma junta rotacional robótica, que move de 30 para 70 graus, utilizando um polinômio de quinta ordem. Além disso, conceitos relevantes para o planejamento, como aceleração e desaceleração simétricas e uma velocidade de cruzeiro suavemente crescente, são observados.

Já a Figura 5 ilustra um obstáculo estático na posição de 60 graus. A estratégia adotada, segundo Holland (1975), foi recalculada para desviar para 63 graus, utilizando um *algoritmo genético clássico*, com cromossomos numéricos, em vez dos binários tradicionais, dentro do raio de alcance do braço robótico.

De forma resumida, o Algoritmo Genético Canônico (*AGC*), proposto por John Holland em 1975, marcou o início de uma nova era na otimização heurística. Inspirado nos mecanismos da evolução natural, o *AGC* se consolidou como uma ferramenta poderosa para resolver problemas complexos em diversos domínios.

A aceleração teve uma descontinuidade no replanejamento da trajetória, entretanto um cuidado de não ser maior do o dobro da situação sem obstáculo para preservar a vida útil do atuador (SICILIANO, KHATIB, 2016).

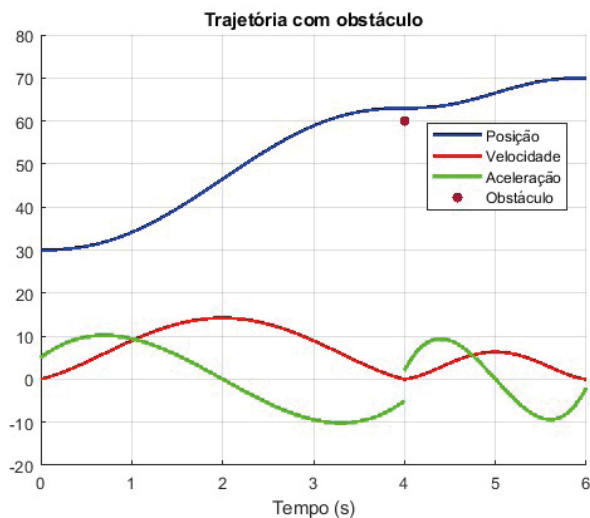


Figura 5. Variáveis no espaço angular de um planejamento com obstáculo Estático ou Dinâmico.

CONCLUSÃO

Os resultados para o desvio de obstáculos estáticos foram promissores. De forma geral, a robótica colaborativa destaca-se como uma revolução na automação industrial, permitindo que robôs trabalhem de maneira segura e integrada com humanos. Esses robôs não apenas otimizam a eficiência, mas também oferecem flexibilidade na produção, atendendo à demanda por customização em massa. Além disso, tornam a automação mais acessível para pequenas e médias empresas, sendo mais econômicos e fáceis de programar em comparação com robôs industriais tradicionais. Outro ponto crucial é a capacidade de adaptação e aprendizado desses robôs. Com o uso de algoritmos avançados e inteligência artificial, eles melhoram continuamente suas funções, tornando-se ferramentas essenciais para a manufatura do futuro. Trabalhos Futuros: Interface Humano-Robô: Investigar como robôs colaborativos podem interagir melhor com humanos, considerando ergonomia, psicologia e segurança. Integração com IoT: Avaliar como a robótica colaborativa pode aproveitar a rede de dispositivos conectados para coletar dados em tempo real e otimizar a produção. Técnicas Avançadas de Aprendizado: Explorar como avanços em aprendizado profundo e aprendizado por reforço podem aprimorar a adaptabilidade e eficiência dos robôs colaborativos.

REFERÊNCIAS

CORDEIRO, J. S. (2022). **Robôs colaborativos podem até ser utilizados no âmbito do metaverso**. *Jornal da USP*.

DA SILVA, I. N.; SPATTI, D. H.; FLAUZINO, R. A.; LIBONI, L. H. B.; ALVEZ, S. F. R. **Redes neurais artificiais: um curso prático**. 1. ed. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2017.

DALMEDICO, J. F.; MENDONÇA, M.; DE SOUZA, L. B.; DE BARROS, R. V. P.; CHRUN, I. R. **Redes neurais artificiais aplicadas na solução do problema de cinemática inversa de um braço manipulador 3D**. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON NEURAL NETWORKS, 2018. p. 1-6. DOI: 0.1109/IJCNN.2018.8489532.

HAYKIN, S. S. **Redes neurais e máquinas de aprendizagem**. 3. ed. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall, 2009.

HOLLAND, John H. **Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence**. 1. ed. Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975.

HU, J.; XIONG, R. Estimation of contact force for robot manipulator using semiparametric model and disturbance Kalman filter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 65, n. 4, p. 3365-3375, 2018. DOI: 10.1109/TIE.2017.2748056.

ISO 10218-3:2016 - Segurança de robôs - Parte 3: Robôs colaborativos. International Organization for Standardization, Genebra, Suíça, 2016.

KRÜGER, J.; LIEN, T. K.; VERL, A. **Cooperation of human and machines in assembly lines**. *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, v. 58, n. 2, p. 628-646, 2009. doi: 10.1016/j.cirp.2009.09.009.

KUO, P. H.; LIU, G. H.; HO, Y. F.; LI, T. H. S. **PSO and neural network based intelligent posture calibration method for robot arm**. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS, SMC, 2016, Anais IEEE, 2017. p. 3095-3100. DOI: 10.1109/SMC.2016.7844711.

MENDONÇA, M.; KONDO, H. S.; DE SOUZA, L. BOTONI; PALÁCIOS, R. H. C.; DE ALMEIDA, J. Paulo Lima Silva. **Semi-Unknown Environments Exploration Inspired by Swarm Robotics using Fuzzy Cognitive Maps**. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUZZY SYSTEMS (FUZZ-IEEE), 2019, New Orleans, LA, USA. Anais [...]. New Orleans, LA, USA: IEEE, 2019. p. 1-8. DOI: 10.1109/FUZZ-IEEE.2019.8858847.

MENDONÇA, M.; PALÁCIOS, R. H. C.; BREGANON, R.; BOTONI DE SOUZA, L.; RODRIGUES CINTRA MOURA, L. **Analysis of the Inverse Kinematics and Trajectory Planning Applied in a Classic Collaborative Industrial Robotic Manipulator**. *IEEE Latin America Transactions*, v. 20, n. 3, p. 363-371, mar. 2022. DOI: 10.1109/TLA.2022.9667133.

MENDONÇA, M. et al. **Evolução da Inteligência Artificial: da IA Fraca à IA Forte Na era dos Chatbots, com instanciações na Educação**. 2024, Artigo/Capítulo de livro ainda não publicado.

NIKU, S. B. **Introdução à robótica: análise, controle, aplicações**. 2. ed. Hoboken, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2011. v. 53, n. 9.

OLIVEIRA, D. M., & Santos, S. A. (2022). **Robótica colaborativa: Uma revisão bibliográfica**. *Revista Eletrônica de Engenharia e Tecnologia (REET)*, 10(1), 1-13.

SICILIANO, B.; KHATIB, O. (Eds.). **Springer Handbook of Robotics**. 2. ed. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2016.

SOU, A., HOU, Z., FU, S., & TAN, M. **Neural networks for mobile robot navigation**: A survey. In *Advances in Neural Networks - ISNN 2006*, vol. II, pp. 1218-1226. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006. doi: 10.1007/11760023_177.

SOUZA, F. B., & Giardini, G. J. (2018). **Um estudo sobre o impacto da robótica colaborativa na produtividade em tarefas manuais**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de São Paulo, São Paulo.

UNHELKAR, V. V.; SHAH, J. A. **Challenges in developing a collaborative robotic assistant for automotive assembly lines**. In: *ACM/IEEE Int. Conf. Human-Robot Interact.* vol. 02-05-Marc, pp. 239-240. 2015. doi: 10.1145/2701973.2702705.

ZHANG, D.; WEI, B. (Eds.). **Controle adaptativo para manipuladores robóticos**. 1. ed. Oshawa, ON: CRC Press, 2017.

ZIZYTE, M.; TABOR, T. **Should Robotics Engineering Education Include Software Engineering Education?** In: *IEEE/ACM 4th INTERNATIONAL WORKSHOP ON ROBOTICS SOFTWARE ENGINEERING (ROSE), 2022, Pittsburgh, PA, USA*. New York: ACM, 2022. p. 39-42. DOI: 10.1145/3526071.3527514.

USO DA SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO NA AVALIAÇÃO NO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DE MICRÔMETRO

Data de aceite: 26/08/2024

Wellinton de Assunção

Doutor em Engenharia Mecânica
Universidade Estadual de Campinas
(UNICAMP), São Luís, Maranhão, Brasil

Moisés dos Santos Rocha

Doutor em Engenharia Mecânica
Universidade Estadual de Campinas
(UNICAMP), São Luís, Maranhão, Brasil

Mônica Frank Marsaro

Doutora em Engenharia de Produção
Universidade Federal de Pernambuco
(UFPE), São Luís, Maranhão, Brasil

Jean Robert Pereira Rodrigues

Doutor em Engenharia Mecânica
Universidade Estadual de Campinas
(UNICAMP), São Luís, Maranhão, Brasil

Rogério Cardoso Carvalho

Especialista em Engenharia de Segurança
do Trabalho, Faculdade Pitágoras - FAMA

Samuel Victor dos Santos Araújo

Graduando em Engenharia de Produção
Universidade Estadual do Maranhão
(UEMA), São Luís, Maranhão, Brasil

Raí Dias Almeida

Graduando em Engenharia de Produção
Universidade Estadual do Maranhão
(UEMA), São Luís, Maranhão, Brasil

Wellington Pereira Gomes

Graduando em Engenharia de Produção
Universidade Estadual do Maranhão
(UEMA), São Luís, Maranhão, Brasil

RESUMO: O presente artigo apresenta um método para avaliar a incerteza da medição. Trata-se de um método proposto pelo Suplemento 1 do GUM (Guia para Expressão da Incerteza de Medição), chamado Simulação de Monte Carlo (SMC). Esse método utiliza as Funções de Densidade de Probabilidade (FDP) das grandezas de entrada e dos parâmetros da função de medição para estimar a incerteza padrão e os intervalos de abrangência da grandeza de saída. Para ilustrar a abordagem, a Simulação de Monte Carlo foi aplicada em um processo de calibração de um micrômetro em um laboratório de metrologia. Como resultados, identificou-se que as incertezas expandidas, obtidas após 100 mil simulações, para os pontos de calibração de 22 mm e 24 mm do micrômetro, foram de 0,0014 mm e 0,001 mm, respectivamente. Adicionalmente, mediante a análise de variância (ANOVA), constatou-se que a incerteza de repetibilidade foi a maior contribuição para a incerteza de medição nos dois pontos de calibração.

USE OF MONTE CARLO SIMULATION IN THE EVALUATION OF THE MICROMETER CALIBRATION PROCESS

ABSTRACT: This article presents a method for evaluating measurement uncertainty. It is a method proposed by Supplement 1 of the GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement), called Monte Carlo Simulation (MCS). This method uses the Probability Density Functions (PDF) of the input quantities and the parameters of the measurement function to estimate the standard uncertainty and the coverage intervals of the output quantity. To illustrate the approach, the Monte Carlo Simulation was applied in a calibration process of a micrometer in a metrology laboratory. As a result, it was identified that the expanded uncertainties, obtained after 100 thousand simulations, for the calibration points of 22 mm and 24 mm of the micrometer, were 0.0014 mm and 0.001 mm, respectively. Additionally, through analysis of variance (ANOVA), it was found that repeatability uncertainty was the largest contribution to the measurement uncertainty at the two calibration points.

KEYWORDS: Measurement Uncertainty, Monte Carlo Simulation, Micrometer, Calibration.

INTRODUÇÃO

A Metrologia, definida como a ciência da medição, tem como foco principal prover a confiabilidade, credibilidade, universalidade e qualidade às medições (CONMETRO, 2008). Como as medições estão presentes, direta ou indiretamente, em praticamente todos os processos de produção e de tomada de decisão, a abrangência da metrologia é imensa, envolvendo a indústria, o comércio, a saúde, a segurança, a defesa e o meio ambiente, entre outros (Barducci *et al.*, 2018).

No entanto, nenhuma medição é absolutamente exata. É essencial reconhecer que o resultado de uma medição é influenciado pelo sistema de medição, pelo procedimento adotado, pela perícia do operador, pelo ambiente e por outros efeitos pertinentes (GUM, 2008). Singh *et al.* (2021) ressaltam que o resultado de medição fornece apenas uma estimativa do mensurando (grandeza de interesse). Sendo assim, a representação completa desse mensurando deverá incluir a dúvida deste resultado, a qual é traduzida pela sua incerteza de medição (INMETRO, 2008).

A incerteza de medição, conforme definida no Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM, 2012, p. 45), é o “parâmetro associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentadamente atribuídos a um mensurando”. Incerpi (2008) acrescenta que a incerteza de medição é o resultado quantitativo que permite avaliar a confiabilidade do resultado de uma medição.

Dentre as técnicas disponíveis na literatura para avaliar a incerteza de medição, destaca-se um método numérico proposto pelo Suplemento 1 do GUM (Guia para Expressão da Incerteza de Medição), chamado Simulação de Monte Carlo (SMC). De acordo com Martins (2010), este método baseia-se na propagação das Funções de Densidade de Probabilidade (FDPs), atribuídas às grandezas de entrada, por meio de uma simulação numérica da função de medição para determinar a FDP do mensurando e os intervalos de abrangência da grandeza de saída.

Segundo Silveira, Anzanello e Etcheverry (2014), entre as vantagens da SMC, destaca-se que os dados de entrada podem apresentar qualquer tipo de distribuição, permitindo analisar cenários de forma ágil (alterando apenas os dados de entrada). Outra vantagem, apontada por Aurélio (2013), reside na inexistência de um algoritmo único para implementação da SMC, o que possibilita ajustar o procedimento de simulação de forma mais adequada à situação específica.

Diante do exposto, este artigo visa apresentar o método de Simulação de Monte Carlo (SMC) para avaliar a incerteza da medição. São demonstrados alguns aspectos importantes da técnica, como a estimativa e a descrição da incerteza em uma variável específica, além de um passo a passo simplificado para o seu cálculo. Para uma melhor compreensão, o método proposto foi aplicado em um processo de calibração de um micrômetro.

Acredita-se que este artigo contribuirá com a literatura disponível na área de avaliação de incerteza de medição em processos de calibração, auxiliando na análise de dados experimentais de maneira simples, clara e objetiva.

REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão teórica deste estudo aborda os temas que fundamentam a problemática da pesquisa em questão. Na subseção 2.1, apresenta-se uma breve análise da parte inicial do GUM (Guia Para Expressão da Incerteza de Medição), abordando os conceitos de modelo matemático e as incertezas padrão tipo A e B. Nas subseções 2.2 a 2.4, demonstra-se o Suplemento 1 do GUM, ou JCGM 101:2008, para o cálculo da incerteza de medição por Simulação de Monte Carlo (SMC).

Modelo matemático e incerteza padrão tipo A e B

Para avaliar a incerteza de medição, é necessário estabelecer um modelo matemático, conforme demonstrado na equação 1.

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (1)$$

Onde Y corresponde à quantidade ou medida que está sendo efetuada ou avaliada. Já $X_1, X_2, X_3 \dots X_n$, referem-se aos parâmetros ou variáveis independentes que são consideradas no processo de medição. Denominam-se, neste contexto, Y como a grandeza de saída ou mensurando e X_n como a grandeza de entrada (GUM, 2008).

O GUM (2008) apresenta diversos exemplos de mensurandos, como o volume de um recipiente, a massa de um objeto em uma balança, a diferença de potencial elétrico entre os terminais de uma bateria, a concentração de chumbo na água contida em um frasco, entre outros.

Landgraf e Stempniak (2004) salientam que, embora a função f seja geralmente expressa de forma analítica, em certas circunstâncias, ela pode ser descrita por meio de um conjunto de expressões. Essas expressões incorporam correções e fatores de ajuste para contemplar efeitos sistemáticos específicos. Bich, Cox e Harris (2006), por sua vez, comentam que este cenário resulta em uma equação mais complexa, impossibilitando sua representação por uma função analítica explícita.

Martins (2010) afirma que cada grandeza de entrada X_n , do modelo matemático, possui uma Função de Densidade de Probabilidade (FDP). Além disso, o autor enfatiza que os parâmetros estatísticos mais relevantes da FDP, do ponto de vista metrológico, incluem a esperança $E[X]$, que representa o valor esperado de uma variável aleatória, e a variância $V_{ar}[X]$. Dessa maneira, o resultado de uma medição é obtido pelo primeiro momento estatístico, expresso como:

$$\mu_x = E[X] = \int_{-\infty}^{\infty} \xi g_x(\xi) d\xi \quad (2)$$

Em que ξ representa os valores possíveis de uma variável aleatória X , a qual possui uma FDP de uma função $g_x(\xi)$. Segundo Reis (2017), a incerteza padrão de medição $u(\mu_x)$ associada ao resultado de medição μ_x é relacionada com o segundo momento estatístico centrado na esperança, logo:

$$u^2(u_x) = var[x] = \int_{-\infty}^{+\infty} (\xi - \mu_x)^2 g_x(\xi) d\xi \quad (3)$$

Conforme evidenciado nas equações 2 e 3, é necessário conhecer a Função de Densidade de Probabilidade (FDP) da grandeza de entrada para expressar o resultado da medição μ_x e sua respectiva incerteza padrão (Cox; Harris, 2003).

O GUM (2008) adota dois métodos para obter essas FDPs para as grandezas de entrada X_n : o primeiro consiste em obter uma FDP a partir de uma série de observações independentes (uma distribuição de frequência); o segundo método é a determinação de uma FDP a *priori* proveniente de um levantamento de informações das grandezas. Para Incerpi (2008), as incertezas obtidas a partir das distribuições de frequência são classificadas como incertezas padrão do tipo A, e as incertezas a partir de PDFs a *priori* como incertezas padrão do Tipo B.

De acordo com Farkas e Drégelyi (2018), a incerteza padrão do tipo A u_A é obtida por meio da análise estatística, utilizando o desvio padrão σ amostral dos n valores experimentais. Nesse contexto, a FDP associada à incerteza do tipo A é gaussiana (Landgraf; Stempniak, 2004). A equação 4 ilustra o procedimento do cálculo da incerteza do tipo A.

$$u_A = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

Na avaliação da incerteza do tipo B, utilizam-se fontes de informações disponíveis sobre o processo de medição. Como Hiller e Reindl (2012) corroboram, quando a FDP de uma grandeza de entrada X_n é derivada do conhecimento geral ou da experiência relacionada ao processo de medição, o GUM classifica isso como uma FDP *a priori*, indicando que a forma dessa FDP é conhecida previamente. Dessa forma, a incerteza padrão do tipo B é fundamentada em conceitos da estatística Bayesiana (Lira, 2008). A equação 5 ilustra o cálculo da incerteza do tipo B.

$$u_B = \frac{E_m}{\sqrt{\text{div}}} \quad (5)$$

onde:

u_B = Incerteza padrão do tipo B

E_m = O erro máximo do instrumento

div = Divisor aleatório

Para Marton, Stary e Mensik (2014), o valor do divisor *div* da equação 5 depende da forma da FDP conhecida. Alguns desses valores estão apresentados no Quadro 1.

Fonte de incerteza	Divisor (<i>div</i>)	FDP
Escala do instrumento	$2\sqrt{3}$	Retangular
Certificado de calibração	k	Gaussiana
Catálogo do instrumento	$\sqrt{3}$	Retangular
Variações de temperatura no instrumento	$\sqrt{6}$	Triangular

Quadro 1. Valores de divisores para determinação da incerteza do tipo B

Fonte: Adaptado de Reis (2017)

Método de propagação de distribuições

A abordagem proposta pelo Suplemento 1 do GUM baseia-se na lei de propagação de distribuições. Segundo Martins *et al.* (2010), esta lei considera uma base probabilística generalizada para a avaliação da incerteza de medição, utilizando diretamente as FDPs atribuídas às grandezas de entrada X_n .

Para Cox e Harris (2003), neste método, os valores possíveis das grandezas de entrada X_n são simbolizados por ξ_n , enquanto a FDP para a grandeza de entrada X_n é simbolizada por $g_{X_n}(\xi_n)$. Por sua vez, os valores possíveis para a esperança de Y e sua FDP são simbolizados por n e $g_Y(n)$, respectivamente.

Cox e Siebert (2006) argumentam que a esperança de Y pode ser obtida pela FDP conjunta das grandezas de entrada, através da função de medição (equação 1), segundo a expressão:

$$E(Y) = E\left[f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)\right] = \int_{-\infty}^{\infty} f(\xi_1, \dots, \xi_n) g_{X_1, \dots, X_n}(\xi_1, \dots, \xi_n) d\xi_1 \dots d\xi_n \quad (6)$$

Pereira *et al.* (2022) destacam que a equação 6 possui um termo $g_{X_1, \dots, X_n}(\xi_1, \dots, \xi_n)$, que representa a Função de Densidade de probabilidade (FDP) conjunta das grandezas de entrada. Se as grandezas de entrada do modelo matemático forem mutuamente independentes, a FDP conjunta será o produto das FDPs individuais dessas grandezas (Reis, 2017; Bich; Cox; Harris, 2006).

Martins (2010, p. 23) enfatiza: “uma vez que a FDP das grandezas de entrada tenha sido atribuída, ela é propagada através da função de medição para gerar a FDP do mensurado $Y(g_y(n))$ ”. Em outras palavras, a Função de Densidade de Probabilidade (FDP) para Y é obtida a partir das combinações apropriadas que se ajustam ao modelo dos possíveis valores das grandezas de entrada.

A representação da FDP do mensurado $g_y(n)$ é demonstrada por meio das fórmulas 7 a 14, seguindo os conceitos apresentados por Arfken (2013), Cox e Siebert (2006), e Martins (2010).

Inicialmente, considere a função delta de Dirac δ , definida por:

$$\delta(x-a) = \begin{cases} \infty & x=a \\ 0 & x \neq a \end{cases} \quad (7)$$

Arfken (2013) esclarece que algumas propriedades úteis da função delta de Dirac devem ser apresentadas, tais como:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x-a) dx = 1 \quad (8)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \delta(x-a) dx = f(a) \quad (9)$$

Ao considerar, $f(x) = x$ e $f(a) = a$ e por conveniência, substituindo as variáveis x e a da função delta de Dirac por n e $f(\xi_1, \dots, \xi_n)$, obtém-se a equação 10. (Martins *et.al*, 2010; Cox; Siebert, 2006).

$$\int_{-\infty}^{+\infty} x \delta(x-a) dx = f(a) = \int_{-\infty}^{+\infty} n \delta(n - f(\xi_1, \dots, \xi_n)) dn = f(\xi_1, \dots, \xi_n) \quad (10)$$

A substituição do termo $f(\xi_1, \dots, \xi_n)$, dado pela equação 10, na equação 6 resultará em:

$$E[Y] = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} n \delta(n - f(\xi_1, \dots, \xi_n)) g_{x_1, \dots, x_n}(\xi_1, \dots, \xi_n) d\xi_1, d\xi_2, \dots, d\xi_n \quad (11)$$

Por outro lado, ao adaptar a equação 2, ela pode ser reescrita por:

$$E[Y] = \int_{-\infty}^{+\infty} n g_Y(n) dn \quad (12)$$

Igualando-se as equações 11 e 12, obtém-se:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} n g_Y(n) dn = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} n \delta(n - f(\xi_1, \dots, \xi_n)) g_{x_1, \dots, x_n}(\xi_1, \dots, \xi_n) d\xi_1, d\xi_2, \dots, d\xi_n \quad (13)$$

Dessa forma, ao comparar os dois lados da equação 13, a FDP para a grandeza de saída Y pode ser obtida por:

$$g_Y(n) = \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(n - f(\xi_1, \dots, \xi_n)) g_{x_1, \dots, x_n}(\xi_1, \dots, \xi_n) d\xi_1, \dots, d\xi_n \quad (14)$$

A equação 14 é conhecida como fórmula de Markov, e uma generalização dessa fórmula pode ser obtida para mais de uma grandeza de saída (Cox; Siebert, 2006). No entanto, o JCGM (2008, p. 21) salienta que, devido à impossibilidade de solução analítica da fórmula de Markov na maioria das funções de medição, é necessário utilizar um procedimento numérico para solucionar a equação 14. O método numérico adotado pelo Suplemento 1 do GUM está descrito no tópico 2.3 deste trabalho.

Simulação de Monte Carlo

A implementação geral mais eficiente do método numérico para propagação de FDPs é a Simulação de Monte Carlo (SMC) (Cox; Harris, 2003).

A Simulação de Monte Carlo (SMC) é operacionalizada por meio de um processo iterativo e estocástico, no qual são geradas amostras representativas da FDP conjunta $g_{x_1, \dots, x_n}(\xi_1, \dots, \xi_n)$ das grandezas de entrada (X_1, \dots, X_n) (Aurélio, 2013; Martins, 2010). Essas amostras são selecionadas seguindo uma distribuição específica que reflete a incerteza associada às variáveis de entrada.

Em seguida, esses valores são propagados através da função de medição, permitindo assim a geração de uma FDP amostral das grandezas de saída Y, a qual se aproxima da FDP do mensurando $g_Y(n)$ (Cox; Siebert, 2006; Reis, 2017). Segundo Singh *et al.* (2021), a partir da distribuição amostral, são obtidos os valores da média (que representa a estimativa y do mensurando Y), e do desvio padrão da FDP amostral.

Cox e Harris (2003) afirmam que a Simulação de Monte Carlo oferece resultados excelentes para a construção da Função de Densidade de Probabilidade (FDP) amostral do mensurando. Entretanto, Donatelli e Konrath (2006) destacam que um requisito fundamental para obter esses resultados é a escolha correta do número de medições simuladas M , de modo a assegurar que o erro de estimativa da simulação seja suficientemente pequeno.

Devido à alta velocidade dos computadores modernos, inúmeras tentativas podem ser processadas sem limitação de tempo. Assim, um valor de $M = 100.000$ simulações é suficiente para qualquer *software* utilizado (Cox; Siebert, 2006).

Intervalos de abrangência e incerteza expandida

Para avaliar a incerteza de medição, no método GUM (2008, p. 18-23), recomenda-se calcular a incerteza combinada por meio da lei de propagação de incertezas e do fator de abrangência k pela fórmula de Welch-Satterthwaite para determinar a incerteza expandida U . Esta última define um intervalo em torno do resultado da medição, no qual espera-se abranger uma extensa fração dos valores que podem razoavelmente ser atribuídos ao mensurando (Robbi *et al.*, 2015; GUM, 2008).

Contudo, no método proposto pelo JCGM (2008, p. 21-25), a incerteza expandida U para uma probabilidade de abrangência p é calculada a partir da função de distribuição acumulada $G_Y(n)$ (obtida pela SMC) para Y , determinando, numericamente, os valores I_{pinf} e I_{psup} , que satisfazem:

$$G_Y(I_{psup}, p) - G_Y(I_{pinf}, p) = p \quad (15)$$

Em que I_{pinf} e I_{psup} são os pontos finais de um intervalo de abrangência de $100p\%$ para o mensurando Y . Cox e Siebert (2006), apontam que se a FDP for unimodal (com um único pico) e simétrica em relação à sua expectativa, a incerteza expandida U pode ser obtida por:

$$U(Y) = \frac{I_{psup} - I_{pinf}}{2} \quad (16)$$

Segundo o JCGM (2008, p. 22), “quando a FDP para Y é simétrica em relação à estimativa y , o intervalo de abrangência pode ser representado por $Y = [y \pm U(y)]$ ”. Nessa representação, o mensurando Y é delimitado pelos valores $y-U$ e $y+U$ para uma determinada probabilidade de abrangência p .

Convém salientar que o método descrito anteriormente revela-se inadequado quando a distribuição de saída não é simétrica (JCGM, 2008). Neste caso, o JCGM (2008) recomenda aplicar o procedimento de estimação do intervalo de abrangência mínimo.

METODOLOGIA

O presente trabalho classifica-se, quanto à sua natureza, como uma pesquisa aplicada, uma vez que visa gerar conhecimentos direcionados à solução de problemas específicos relacionados à incerteza de medição. Destaca-se que, segundo Cervo, Bervian e Silva (2007), na pesquisa aplicada, o pesquisador é estimulado pela necessidade de contribuir para fins práticos, quase que imediatos, buscando soluções plausíveis para problemas realistas.

Quanto à abordagem, esta pesquisa é classificada como quali-quantitativa, incorporando o uso de técnicas estatísticas para seleção de variáveis e simulações, considerando que um determinado modelo será avaliado, e alguns dados quantitativos precisam ser fornecidos (Silva; Menezes, 2005).

Esta pesquisa também incorpora uma revisão bibliográfica para estabelecer a fundamentação teórica. A revisão bibliográfica permite uma investigação aprofundada de diversos autores e referências sobre um tema específico (Sousa; Oliveira; Alves, 2021). Além disso, a revisão auxilia a esclarecer os métodos utilizados na coleta e análise dos dados, contribuindo para uma compreensão mais profunda dos resultados obtidos (Gray, 2012).

Após a revisão teórica, a pesquisa foi estruturada por meio de um estudo de caso para facilitar a compreensão do método proposto pelo Suplemento 1 do GUM. Os estudos de caso configuram-se como a estratégia preferida para investigar questões do tipo “como” e “por que”, especialmente quando o pesquisador tem pouco controle sobre os eventos em análise e o foco recai sobre fenômenos contemporâneos inseridos em algum contexto da vida real (Yin, 2001).

Os dados obtidos para compor o estudo de caso foram coletados em um laboratório de metrologia, um ambiente especialmente projetado e equipado com instrumentação de última geração para garantir a precisão e a consistência das medições.

Quanto às ferramentas, empregou-se a Uncertainty Machine para conduzir a Simulação de Monte Carlo (SMC). A Uncertainty Machine (disponível em <https://uncertainty.nist.gov/>), é uma ferramenta desenvolvida em colaboração pelo governo dos Estados Unidos e pelo National Institute of Standards and Technology (NIST), codificada em linguagem R.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, um estudo de caso é apresentado para ilustrar a aplicação do método proposto pelo Suplemento 1 do GUM. O estudo de caso consiste em avaliar a incerteza de medição em um processo de calibração de um micrômetro.

Estudo de caso

O estudo inicia-se com as especificações dos instrumentos. O instrumento a ser calibrado é um micrômetro com resolução padrão de 0,001 mm. Para realizar a calibração, foram utilizados três blocos padrão com comprimentos de 22 mm, 23,5 mm e 24 mm, cada um com resolução de 0,1 μm . Além disso, cada bloco padrão possui uma incerteza declarada no próprio certificado de 0,05 μm .

Inicialmente, foi verificado se o micrômetro estava limpo e livre de danos, como amassados ou riscos na escala. Posteriormente, o bloco padrão desejado foi posicionado sobre uma superfície plana e medido em diferentes pontos com o micrômetro. Para aumentar a confiabilidade dos resultados, foram realizadas 5 medições para cada bloco padrão.

A Tabela 1 apresenta os dados coletados da calibração do micrômetro.

Referência	Comprimento do bloco (mm)	Medições do micrômetro (mm)				
		1	2	3	4	5
1	22	22	22,003	22	22,003	22,001
2	23,5	23,5	23,501	23,5	23,5	23,5
3	24	24	24,001	24,002	24	24

Tabela 1. Número das medições, comprimento do bloco e indicações

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Adicionalmente, foram realizados os cálculos das médias, do desvio padrão e da correção do material. Esta última é obtida ao subtrair a média das indicações I do micrômetro do valor verdadeiro do bloco padrão. Os resultados desses parâmetros estão apresentados no Quadro 2.

Referência	Pontos de calibração (mm)	Média das Indicações (I)	Desvio padrão	Correção
1	22	22,0014	0,001356466	0,0014
2	23,5	23,5002	0,0004	0,0002
3	24	24,0006	0,0008	0,0006

Quadro 2. Dados do processo de calibração do micrômetro

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Pode-se observar, por meio do Quadro 2, que as médias obtidas estão bastante próximas dos valores originais do comprimento do bloco padrão, indicando uma elevada precisão do micrômetro utilizado. Além disso, os desvios padrão associados às medições são baixos, o que confirma uma boa repetibilidade e reprodutibilidade das leituras efetuadas.

Definição do modelo matemático e cálculo das incertezas padrão

O procedimento inicial para a avaliação da incerteza de medição consiste em estabelecer a função de medição do sistema. Em seguida, realiza-se a avaliação da função metrológica das grandezas de entrada, que, neste caso, corresponde às leituras do micrômetro. Seguindo essa abordagem, a função proposta para avaliar as incertezas associadas à leitura do micrômetro, é apresentada na equação 17.

$$L = I + RM + RBP + RHBP \quad (17)$$

onde:

L= Leituras do micrômetro

I = Média das Leituras

RM = Resolução do micrômetro

RBP = Resolução do bloco padrão

RHBP = Herdada do bloco

Conforme explicado no tópico 2.1, o modelo matemático (equação 17) pode compor dois tipos de incertezas: a incerteza padrão tipo A e a incerteza padrão tipo B. Neste estudo, as incertezas associadas às variáveis de entrada do modelo matemático são: incerteza de repetibilidade (tipo A), incerteza associada à resolução do micrômetro (tipo B), incerteza associada à resolução do bloco padrão (tipo B) e incerteza herdada do bloco padrão (tipo B).

A incerteza associada à média das leituras I , também conhecida como incerteza de repetibilidade (IR), foi calculada com base na equação 4. No ponto de 22 mm, para $n = 5$ (que representa a quantidade de medições) e com desvio padrão de 0,001356466 mm, obteve-se uma repetibilidade de 0,000606 mm. No ponto de 23,5 mm, seguindo o mesmo procedimento do ponto de 22 mm, obteve-se uma repetibilidade de 0,000178885 mm. Por fim, no ponto de 24 mm, a incerteza de repetibilidade foi de 0,000357771 mm.

A incerteza associada à resolução do micrômetro (IRM), foi calculada através da equação 5, com o $E_m = 0,001$ mm e $div = \sqrt{3}$. O valor obtido foi de 0,00057735 mm para os três pontos de calibração.

Em relação à incerteza associada à resolução do bloco padrão (IBP), foi adotado um erro máximo de $0,1 \mu\text{m}$, que representa sua resolução. Utilizando a equação 5, obteve-se o valor de 0,000058 mm para os pontos selecionados, considerando $div = \sqrt{3}$.

Por fim, a incerteza herdada do bloco padrão foi calculada usando a equação 5, com $E_m = 0,05 \mu\text{m}$, e um divisor $k = 2$. O resultado para os três pontos de calibração foi de 0,000025 mm.

Os resultados das incertezas tipo A e B para os pontos de calibração de 22 mm, 23,5 mm e 24 mm estão representados no Quadro 3.

Pontos de calibração (mm)	$IR(A)$	$IRM(B)$	$IRBP(B)$	$IHBP(A)$
22	0,00061	0,00057735	0,000058	0,000025
23,5	0,00018	0,00057735	0,000058	0,000025
24	0,00036	0,00057735	0,000058	0,000025

Quadro 3. incertezas associadas às variáveis de entrada do modelo matemático

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Simulação de Monte Carlo

A Simulação de Monte Carlo foi executada utilizando a Uncertainty Machine do NIST (National Institute of Standards and Technology), com base nos dados apresentados no Quadro 3. Os pontos de calibração escolhidos para realizar a Simulação de Monte Carlo foram os de 22 mm e 24 mm.

A Figura 1 ilustra a primeira seção da Uncertainty Machine com os dados do ponto de calibração de 22 mm. Nesta seção ocorre a seleção das distribuições de probabilidade mais apropriadas para cada componente das grandezas de entrada do modelo matemático.

1. Seleccione Entradas e Escolha Distribuições

Número de quantidades de entrada: 4

Nomes das quantidades de entrada:

IR IRM IRBP IHBP

IR	Gaussiana (Média, Desvio Padrão)	22.0014	0.00061
IRM	Rectangular (Limite Esquerdo, Limite Direito)	-0.00057735	0.00057735
IRBP	Rectangular (Limite Esquerdo, Limite Direito)	-0.000058	0.000058
IHBP	Gaussiana (Média, Desvio Padrão)	0	0.000025

Correlações

Figura 1. Primeira seção da calculadora Uncertainty Machine

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Conforme ilustrado na Figura 1, a distribuição adotada para a incerteza de repetibilidade foi uma distribuição gaussiana, baseada na média e na repetibilidade das leituras efetuadas. Para a incerteza associada à resolução do micrômetro, adotou-se uma distribuição retangular com limite esquerdo e direito de 0,00057735 mm. Quanto à incerteza associada à resolução do bloco padrão, também foi utilizada uma distribuição retangular, com limite esquerdo e direito de 0,000058 mm. Ademais, para a incerteza herdada do bloco (IHBP), empregou-se uma distribuição normal com média 0 e desvio padrão de 0,000025 mm.

Na segunda seção da Uncertainty Machine, ilustrada na Figura 2, utiliza-se o modelo matemático descrito pela equação 17 para possibilitar a execução da Simulação de Monte Carlo.

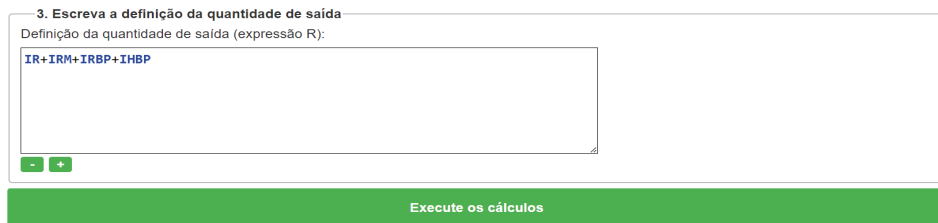


Figura 2. Segunda seção da calculadora Uncertainty Machine

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Após a definição dos parâmetros da primeira e segunda seção da calculadora, os cálculos da Simulação de Monte Carlo são executados. A Figura 3 demonstra a Função de Densidade de Probabilidade (FDP) assumida pelo mensurando após 100 mil simulações para o ponto de calibração de 22 mm.

```

===== RESULTADOS =====

Método de Monte Carlo

Estatísticas de sumário para amostra de tamanho 1000000

Média      = 22.0014
Desvio Padrão  = 0.000693
mediana    = 22.0014
mad        = 7e-04

Symmetrical coverage intervals

99% ( 21.9996, 22.0032)   k = 2.6
95% ( 22, 22.0027)      k = 1.9
90% ( 22.0003, 22.0025) k = 1.6
68% ( 22.0007, 22.0021) k = 1

ANOVA (% Contributions)

          Sem Resíduo   Com Resíduo
IR              76.52    76.52
IRM             23.12    23.12
IRBP              0.23     0.23
IHBP              0.13     0.13
Residual                NA     0.00
  
```

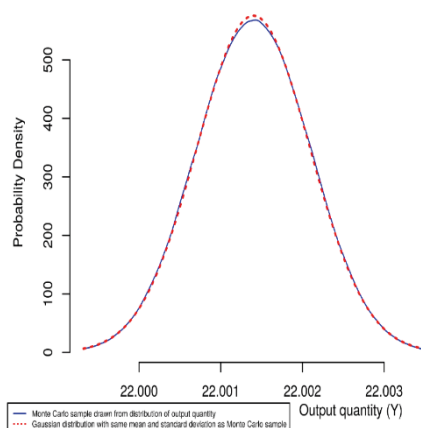


Figura 3. Relatório de dispersão gerado para o ponto de 22 mm

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Na Figura 3, para o intervalo de abrangência de 95%, o limite inferior I_{pint} e superior I_{psup} foram de 22 mm e 22,0027 mm respectivamente. A simulação obteve como média 22,0014 mm e desvio padrão de 0,0006 mm. Como a FDP do mensurando é aproximadamente simétrica, a incerteza expandida U para esse caso pode ser obtida pela diferença entre os limites superior e inferior dividido por 2 (equação 16), o que resulta em 0,0014 mm.

A análise de variância (ANOVA), conforme demonstrado na Figura 3, permite identificar a porcentagem de contribuição de cada variável de entrada para a incerteza de medição. Neste contexto, no ponto de 22 mm, a incerteza de repetibilidade teve um impacto de 76,52% sobre o resultado da incerteza final, enquanto a incerteza associada à resolução do micrômetro contribuiu com 23,12%. Quanto à incerteza relacionada à resolução do bloco padrão, sua contribuição foi de 0,23%, enquanto a incerteza herdada do bloco padrão apresentou um valor de 0,13%.

Para executar a Simulação de Monte Carlo para o ponto de calibração de 24 mm, foi adotado o mesmo procedimento do ponto de 22 mm. A Figura 4 ilustra a FDP assumida pelo mensurando após 100 mil simulações para o ponto de calibração de 24 mm.

```

===== RESULTADOS =====

Método de Monte Carlo

Estatísticas de sumário para amostra de tamanho 1000000

Média      = 24.0006
Desvio Padrão  = 0.000491
mediana    = 24.0006
mad        = 0.00051

Symmetrical coverage intervals

99% ( 23.9994, 24.0018)   k = 2.4
95% ( 23.9997, 24.0015)   k = 1.9
90% ( 23.9998, 24.0014)   k = 1.6
68% ( 24.0001, 24.0011)   k = 1

ANOVA (% Contributions)

          Sem Resíduo   Com Resíduo
IR          53.15      53.15
IRM         46.13      46.13
IRBP         0.46       0.46
IHBP         0.26       0.26
Residual           NA       0.00
    
```

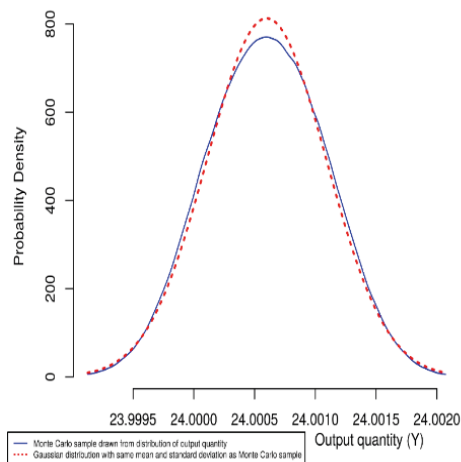


Figura 4. Relatório de dispersão gerado para o ponto de 24 mm

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

No ponto de 24 mm (Figura 4), obteve-se uma média de 24,006 mm e um desvio padrão de 0,004 mm. Dado que a Função de Densidade de Probabilidade (FDP) é aproximadamente simétrica, pode-se seguir o mesmo procedimento descrito anteriormente para o cálculo da incerteza expandida. Dessa forma, a incerteza expandida para o ponto de 24 mm é igual a 0,001 mm.

Com base na análise de variância do ponto de calibração de 24 mm, observa-se que a incerteza de repetibilidade possui uma influência de 53,15% sobre a incerteza de medição. Enquanto isso, as incertezas relacionadas à resolução do micrômetro, do bloco padrão e a herdada do bloco tiveram influências de 46,13%, 0,46% e 0,26%, respectivamente.

É válido ressaltar que, embora a incerteza de repetibilidade no ponto de 24 mm apresente uma influência reduzida de 20,52% em relação ao ponto de 22 mm, ela permanece como a principal contribuição para a incerteza de medição entre todas associadas as fontes de entradas consideradas, independentemente do ponto de calibração analisado.

Resultado de medição

Dado que as informações sobre a incerteza expandida U , a estimativa y e a correção C_c do micrômetro estão disponíveis, é possível determinar o resultado de medição do micrômetro pelo intervalo $y \pm [U(y) + C_c]$.

No ponto de calibração de 22 mm, por exemplo, para um média de 22,014 mm, incerteza expandida de 0,0014 mm e correção de 0,00014 mm, o intervalo de abrangência de 95% para o verdadeiro comprimento medido do micrômetro é de $(22,0014 \pm 0,0028)$ mm. Isso significa que há 95% de probabilidade de que o valor real do comprimento esteja dentro desse intervalo. Em contrapartida, para o ponto de 24 mm, o intervalo encontrado foi de $(24,5002 \pm 0,0016)$ mm para um intervalo de confiança de 95%.

Com base nos resultados dos pontos de 22 mm e 24 mm, caso haja indícios de uma incerteza significativa na determinação do intervalo e na estimativa da média dos dados, a utilização da Simulação de Monte Carlo (SMC) pode ser empregada de maneira confiável para avaliar a incerteza de medição.

CONCLUSÃO

Neste estudo, realizou-se uma análise abrangente do método proposto pelo Suplemento 1 do GUM (Guia para Expressão da Incerteza de Medição), este que se baseia na lei de propagação de distribuições através da Simulação de Monte Carlo (SMC). Para aplicação e exploração dos métodos, a metodologia proposta foi aplicada em um processo de calibração de um micrômetro em um laboratório de metrologia.

Os valores das incertezas expandidas encontrados para os pontos de calibração do micrômetro de 22 mm e 24 mm variam entre $\pm 0,014$ mm e $\pm 0,01$ mm, respectivamente, considerando uma probabilidade de abrangência de 95,45%. Observou-se que a incerteza da repetibilidade (IR) foi a fonte de maior contribuição para a incerteza de medição em ambos os pontos de calibração, com influência de 76,52% e 53,15%, respectivamente.

As principais vantagens da Simulação de Monte Carlo (SMC) identificadas neste artigo foram: a geração de uma Função Densidade de Probabilidade (FDP) para o mensurando, o que permitiu a determinação do intervalo de abrangência, desvio padrão, média, mediana, além de outros parâmetros estatísticos relevantes. Convém salientar que a precisão desses parâmetros está diretamente relacionada ao número de simulações realizadas. Geralmente, recomenda-se o uso de mais de 100 mil simulações para garantir resultados confiáveis, embora esse número possa variar dependendo da complexidade do problema e dos requisitos de precisão.

Este trabalho deixa como contribuição um método que se destaca como uma alternativa mais sólida e eficaz para avaliar a incerteza de medição em sistemas, sejam eles lineares ou não. Através de uma abordagem simplificada e utilizando um fator de correção conhecido, o método permite estimar a incerteza de medição com alta precisão. Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação da mesma metodologia para determinar a incerteza de medição em processos de calibração similares, em conjunto com o software Uncertainty Machine para realizar a Simulação de Monte Carlo.

REFERÊNCIAS

AURÉLIO, M. C. **Seleção de variáveis para clusterização com visitas ao aprimoramento de processos produtivos**. 2013. 53f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

ARFKEN, G. B. *Mathematical methods for physicists*. [s.l.] **Elsevier Science**, 2013.

BARDUCCI, G. S. et al. Análise de dimensional e rugosidade dos materiais com instrumentos metrológicos. **Revista Engenharia em Ação UniToledo**, v. 3, n. 2, 2018.

BICH, W.; COX, M. G.; HARRIS, P. M. Evolution of the 'guide to the expression of uncertainty in measurement'. **Metrologia**, v. 43, n. 4, p. S161–S166, 2006.

COX, M.; HARRIS, P. The GUM and its planned supplemental guides. **Accreditation and quality assurance**, v. 8, n. 7–8, p. 375–379, 2003.

COX, M. G.; SIEBERT, B. R. L. The use of a Monte Carlo method for evaluating uncertainty and expanded uncertainty. **Metrologia**, v. 43, n. 4, p. S178–S188, 2006.

CONMETRO – Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Diretrizes estratégicas para a Metrologia Brasileira**. 2008.

CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; SILVA, R. **Metodologia Científica**. 6ª edição. São Paulo: Pearson / Prentice Hall, 2006.

DA SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. T. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª edição. UFSC, Florianópolis, v. 123, 2005.

DE SOUSA, A.; OLIVEIRA, G. S.; ALVES, L. H. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. **Cadernos da FUCAMP**, v. 20, n. 43, 2021.

DONATELLI, G. D.; KONRATH, A. C. Simulação de Monte Carlo na avaliação de incertezas de medição. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 13, n. 6, p. 5 - 15, 2005.

FARKAS, G.; DRÉGELYI-KISS, Á. Measurement uncertainty of surface roughness measurement. IOP conference series. **Materials science and engineering**, v. 448, p. 012020, 2018.

GRAY, D. E. **Pesquisa no Mundo Real**. 3ª edição. Porto Alegre: Artmed Editora, 2012.

GUM – **Guia para Expressão de Incertezas de Medições**. Avaliação de dados de medição, 2008.

HILLER, J.; REINDL, L. M. A computer simulation platform for the estimation of measurement uncertainties in dimensional X-ray computed tomography. **Measurement: journal of the International Measurement Confederation**, v. 45, n. 8, p. 2166–2182, 2012.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **A estimativa da incerteza de medição pelos métodos do ISO GUM 95 e de simulação de Monte Carlo**. 2008.

INCERPI, P.H. **Incerteza de medição – método proposto para a análise da conformidade do produto**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 2008.

JCGM – Joint Committee for Guides in Metrology. **Supplement 1 to the “Guide to the expression of uncertainty in measurement” – Propagation of distributions using a Monte Carlo method**. 2008.

LANDGRAF, W. R.; STEMPNIAK, C. R. Simulação de Monte Carlo e ferramentas para avaliação da incerteza de medição. In: **Congresso Latino Americano de Metrologia**. 2004.

LIRA, I. The generalized maximum entropy trapezoidal probability density function. **Metrologia**, v. 45, n. 4, p. L17–L20, 2008.

MARTINS, M. A. F. et al. Comparação entre os métodos linear e não linear para a avaliação da incerteza de medição. **Controle & Automação**, v. 21, n. 6, p. 557–576, 2010.

MARTINS, M. A. F. **Contribuições Para a Avaliação da Incerteza de Medição No Regime Estacionário**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial). Universidade Federal da Bahia, Salvador. 2010.

MARTON, D.; STARY, M.; MENSIK, P. Water management solution of reservoir storage function under condition of measurement uncertainties in hydrological input data. **Procedia engineering**, v. 70, p. 1094–1101, 2014.

PEREIRA, G. N. D. et al. Analysis of the economic viability of organic production system of ornamental pineapple plants for cut stems. **Ornamental Horticulture**, v. 28, n. 1, p. 99–109, 2022.

REIS, S. F. DA S. **Quantificação de incertezas em método de aceleração para determinação da inércia de rotação**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ROBBI, D. B. et al. Quantificação de incertezas em experimento simples de vibrações. **Revista Interdisciplinar De Pesquisa Em Engenharia**. v. 1 n. 1, p. 1-25, 2015.

SILVEIRA, M. C.; ANZANELLO, M. J.; ETCHEVERRY, G. V. Programação de produção via seleção de variáveis e simulação de Monte Carlo. **Revista produção online**, v. 14, n. 2, p. 764–788, 2014.

SINGH, J. et al. A Monte Carlo simulation investigation on the effect of the probability distribution of input quantities on the effective area of a pressure balance and its uncertainty. **Measurement: journal of the International Measurement Confederation**, v. 172, n. 108853, p. 108853, 2021.

VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia. **Conceitos fundamentais e gerais e termos associados**. 2012.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2001.

SIMULAÇÃO DE UM VASO SEPARADOR HORIZONTAL TRIFÁSICO COM DEFLETOR EM FORMATO L

Data de submissão: 08/08/2024

Data de aceite: 26/08/2024

Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento

Universidade Estadual de Santa Cruz
Ilhéus - BA
<http://lattes.cnpq.br/9140642864690654>

Severino Rodrigues de Farias Neto

Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande -PB
<http://lattes.cnpq.br/5029314237107938>

Boniek Evangelista Leite

Instituto de Química – Universidade de
Brasília, Brasília -DF
<http://lattes.cnpq.br/4452415926170275>

Alysson Dantas Ferreira

Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande -PB
<http://lattes.cnpq.br/3415847633690777>

RESUMO: Os separadores são equipamentos utilizados para separar a mistura multifásica proveniente dos poços produtores na etapa de processamento primário. Portanto, é de fundamental importância possuir modelos matemáticos capazes de representar seus fenômenos, de modo a possibilitar a otimização desses processos. Neste contexto, o presente

estudo teve como objetivo simular o comportamento do fluido multifásico no interior de um separador com um defletor com geometria em formato L, na qual tanto a haste vertical, quanto a haste horizontal fossem perfuradas e modeladas como meio poroso. Para tanto, empregou-se uma abordagem euleriana-euleriana, sendo representado pelo modelo multifásico Volume de Fluido (VOF) em fluidodinâmica computacional (CFD) para descrever o comportamento e a interação das fases. Simulou-se cenários em que se variou a presença do defletor, bem como a velocidade de entrada do fluido. Os resultados numéricos obtidos mostraram o comportamento da fase gasosa, da água e do óleo nos cenários estudados. Portanto, os resultados representaram de forma satisfatória o comportamento da fluidodinâmica do gás, óleo e da água no processo de separação das fases no vaso separador. A utilização de um defletor perfurado em L, sem a presença de placas perfuradas, contribuiu na redução da presença de líquidos na região de separação do vaso separador horizontal trifásico.

PALAVRAS-CHAVE: CFD, VoF, Projeto, Separação

SIMULATION OF A HORIZONTAL THREE-PHASE SEPARATOR WITH AN L-SHAPED DEFLECTOR

ABSTRACT: Separators are equipment used to separate the multiphase mixture from production wells during the primary processing stage. Therefore, it is crucial to have mathematical models capable of representing their phenomena to optimize these processes. In this context, the present study aimed to simulate the behavior of the multiphase fluid inside a separator with an L-shaped baffle, where both the vertical and horizontal baffles were perforated and modeled as a porous medium. To achieve this, a Eulerian-Eulerian approach was employed, represented by the Volume of Fluid (VOF) model in computational fluid dynamics (CFD) to describe the behavior and interaction of the phases. Scenarios were simulated with varying baffle presence and fluid inlet velocity. Therefore, the results satisfactorily represented the behavior of the fluid dynamics of gas, oil and water in the process of phase separation in the separator vessel. The use of an L-shaped perforated deflector, without the presence of perforated plates, contributed to the reduction of the presence of liquids in the separation region of the three-phase horizontal separator vessel.

KEYWORDS: CFD, VoF, Design, Separation

INTRODUÇÃO

Segundo os dados da BP (2021) o petróleo continua na liderança da matriz energética mundial, e contribui significativamente para a produção dos derivados combustíveis e não combustíveis visando atender as demandas da sociedade. Para que esse recurso energético seja processado, ele passa por etapas de exploração, produção e transporte, até chegar nas Refinarias.

Durante a produção se faz necessário a separação primária dos fluidos provenientes dos reservatórios, que ocorre em separadores multifásicos. Os vasos separadores de pressão são localizados imediatamente após a cabeça do poço, e podem ser verticais ou horizontais, assim como bifásicos ou trifásicos. Os Separadores horizontais que operam na separação das fases óleo, gás e água são denominados de trifásicos e são bastante utilizados principalmente em função de apresentarem a seu comprimento horizontal que permite uma maior área interfacial de separação, contribuindo para decantação dos fluidos, quando comparado a separadores verticais (Mokhatab et al., 2006).

No entanto, mesmo diante das vantagens apresentadas pelos separadores horizontais é possível problemas operacionais, que podem reduzir a eficiência de separação, tais como a formação de regiões de recirculação e mistura, que se propagam para a região de separação e reduzem a eficiência de separação do equipamento, pois favorece o arraste de líquidos (água e óleo) pelo gás, ou da água pelo óleo, por exemplo.

Para dimensionar adequadamente um separador trifásico, se faz necessário o conhecimento dos processos que envolvem a separação multifásica, o comportamento do escoamento dos fluidos, as propriedades da corrente de alimentação, assim como as condições operacionais (Ahmed et al., 2017; 2019). Ainda, têm-se que o dimensionamento

de um vaso separador horizontal baseia-se tanto na estimativa do seu comprimento e diâmetro externos, assim como no dimensionamento e definição do arranjo estrutural dos dispositivos internos. A literatura científica aponta métodos semi-empíricos (Monnery e Svrcek, 1994; Arnold e Stewart, 2008) que calculam as dimensões externas do equipamento. Já de acordo Yu et al. (2012) e Oshinowo et al. (2014) para melhorar a eficiência de separação e ao mesmo tempo reduzir as dimensões gerais do vaso, diferentes dispositivos internos podem ser selecionados e instalados para promover a separação gás/líquido e líquido/líquido, uma vez que possuem uma grande influência nos aspectos omitidos pela modelagem semi-empírica. Dispositivos internos são equipamentos ou partes estruturais que compõem a configuração geométrica interna do vaso separador, e podem possuir diferentes design estrutural e posicionamento dentro do equipamento. São exemplos de dispositivos internos, os defletores do tipo placa plana, os ciclônicos (cyclonic momentum breakers), placas coalescedoras (coalescing plates), chicanas/placas defletoras sólidas e perfuradas, chicanas/placas para quebrar espuma ou ondas, chicanas entre as saídas de óleo e água (*weirs*), extratores de névoa (Nascimento, 2023).

Considerando que as zonas de recirculação e a turbulência são problemas que podem afetar a eficiência de separação, analisar a dinâmica interna dos fluidos é muito relevante. E, entendendo que as maiores velocidades são observadas durante a entrada dos fluidos no equipamento, a inserção de dispositivos internos de entrada é uma solução já conhecida no estudo de separadores. No entanto, dentre os internos existentes, se faz necessário avaliar quais melhores configurações geométricas, posicionamento, tamanho, entre outros aspectos podem promover uma melhor atenuação da velocidade dos fluidos e impedir a propagação da mistura para a região de decantação do vaso. Os estudos apresentados por Lu et al. (2007), Efendioğlu et al. (2014), Yayla et al. (2017, 2018), Nascimento (2017); Ghaffarkhah et al. (2018 a, b), Yu et al. (2012) e Kharoua et al. (2013, 2012 a, b) avaliaram o posicionamento e influência de distintos defletores, tais como os dos tipos placa plana, defletores semicírculo, em forma de palhetas (vane), placas perfuradas e com uso de ciclones. No entanto, nos trabalhos ora reportados não foi avaliado a influência de um defletor com geometria em formato L, na qual tanto a haste vertical, quanto a haste horizontal fossem perfuradas e modeladas como meio poroso. Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar de forma qualitativa a influência do defletor em L na dinâmica do escoamento trifásico em um vaso separador horizontal, usando Fluidodinâmica Computacional (CFD).

METODOLOGIA

As etapas do desenvolvimento do trabalho consistiram na definição e construção da geometria, e da malha numérica, definição da modelagem matemática, simulação dos casos usando Fluidodinâmica Computacional (CFD) e análise dos resultados.

Geometria e Malha

Para construção da geometria e malha do separador horizontal trifásico tomou-se como base o equipamento estudado por Kharoua et al. (2013). Foi realizada uma adaptação na geometria interna do equipamento com o objetivo de avaliar especificamente a influência do defletor em formato L na dinâmica do escoamento, mantendo-se assim apenas o *weir* da geometria original. Neste sentido, a geometria do separador em estudo possui um defletor em formato L invertido com porosidade de 70% tanto em sua haste vertical, quanto em sua haste horizontal e um *Weir* como pode ser observado na Figura 1. A malha numérica está representada nas 2 e 3. Na Figura 3 é possível observar o destaque do defletor em L na região de entrada e o *weir* na região de separação água/óleo.



Figura 1- Geometria do vaso separador trifásico com defletor em L

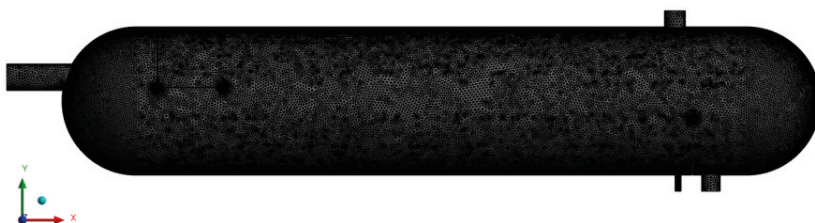


Figura 2 - Malha do vaso separador trifásico com defletor em L

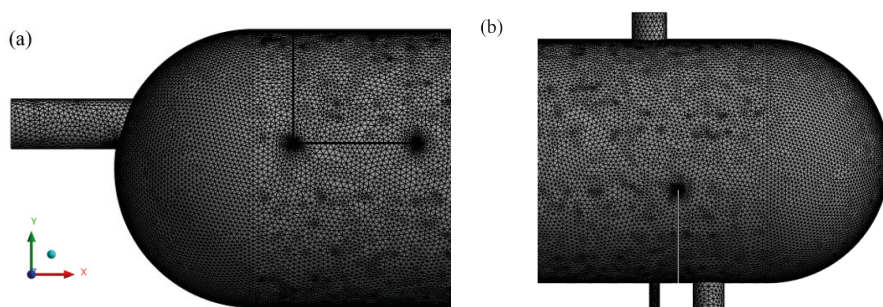


Figura 3- (a) Destaque do defletor em L na região de entrada e (b) o *weir* na região de separação água/óleo

A Tabela 1 indica o dimensionamento externo do separador trifásico.

Região	Valores [mm]
Diâmetro do vaso (D)	3400
Comprimento do vaso (L)	14000
Diâmetro do bocal de entrada	610
Diâmetro do bocal de saída - gás	482,6
Diâmetro do bocal de saída – óleo	431,8
Diâmetro do bocal de saída – água	139,5

Tabela 1 Dimensionamento externo do vaso separador horizontal

Fonte: Adaptado de Kharoua et al., 2013

Modelagem matemática e simulação

O escoamento trifásico turbulento tridimensional no interior do vaso separador horizontal trifásico é baseado na abordagem euleriana-euleriana, sendo representado pelo modelo multifásico Volume de Fluido (VOF) e pelo modelo de turbulência padrão. As equações governantes são a Equação da Continuidade (Equação 1) e a equação da quantidade de movimento (Equação 2) para a mistura.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + \rho \mathbf{g} + \mathbf{T}_\alpha + \mathbf{S}_{gs} \quad (2)$$

onde ρ , e \mathbf{u} são, respectivamente, a densidade e a velocidade da mistura. A força gravitacional é representada por \mathbf{g} , e p é a pressão.

Condições de Contorno, propriedades dos fluidos e casos analisados

Como condição inicial, estabeleceu-se que metade do vaso estava preenchido com líquido e a outra metade com gás. As condições de contorno, propriedades dos fluidos e as principais características dos casos analisados são indicados nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

Fluido	Fração de volume das fases	Pressão na saída (bar)
Gás	0,92	17,2
Óleo	0,06	17,26
Água	0,02	17,38

Tabela 2- Condições de contorno

Fonte: Kharoua et al., 2013b

Fluido	Densidade [kg/m ³]	Viscosidade [kg/ms]	Tensão Superficial [N/m]
Gás	17.58	1.1e-5	2.1e-2
Óleo	813.46	2.3e-3	6.5e-2
Água	1015.10	1.1e-3	4.1e-3

Tabela 3- Propriedades dos fluidos

Fonte: Kharoua et al., 2013b; Ghaffarkhah et al., 2018b

Casos	Descrição
Caso 1 (Nascimento, 2023)	Geometria com ausência de dispositivo de entrada Modelo Multifásico: VOF com captura de interface <i>sharp-dispersed</i> Porosidade das placas perfuradas: 40% Velocidade de entrada: 7,49 m/s Regime Permanente
Caso simulado 2	Geometria com defletor em formato L Porosidade do defletor: 70% Modelo Multifásico: VOF com captura de interface <i>sharp-dispersed</i> Ausência de placas perfuradas Velocidade de entrada: 7,49 m/s Regime Permanente
Caso simulado 3	Geometria com defletor em formato L Porosidade do defletor: 70% Modelo Multifásico: VOF com captura de interface <i>sharp-dispersed</i> Ausência de placas perfuradas Velocidade de entrada: 10,49 m/s Regime Permanente

Tabela 4 - Casos analisados

RESULTADOS

Na etapa de pós-processamento os resultados foram visualizados mediante o uso de gráficos de contornos de fração de volume das fases, sobre o plano longitudinal xy. A partir dos gráficos de contornos realizou-se uma análise qualitativa do comportamento interno dos fluidos no separador horizontal trifásico.

Na região de mistura, que corresponde a região de entrada no equipamento, os fluidos apresentam maiores velocidades e consequentemente, provocam mais zonas de recirculação e turbulência ao longo do equipamento quando não atenuadas. Para favorecer a decantação dos líquidos os fluidos devem escoar com o mínimo de turbulência, sem zonas de recirculação, pois elas intensificam a mistura (Nascimento, 2023). Ainda, como exposto por Nascimento (2022), os dispositivos internos inseridos na região de entrada podem atenuar essas velocidades de distintas maneiras, a depender de seu formato geométrico, posição e/ou ação conjunta com outros internos, tais como as placas perfuradas (chicanas perfuradas). Portanto, a título de análise, o resultado obtido no caso 1 foi comparado com o caso 2 a fim de compreender a influência unicamente do defletor em L na dinâmica do escoamento, sem a ação conjunta com as placas perfuradas.

No caso 1 foi avaliado por Nascimento (2023), o funcionamento do vaso separador horizontal trifásico sem defletor de entrada, com duas placas perfuradas (porosidade de 40%) e o dispositivo tipo *weir*. O vaso se encontra metade cheio de líquido e metade cheio de gás (Figura 4).

O comportamento do nível inicial do escoamento interno dos fluidos pode ser visto nas Figuras 4, 5 e 6 que ilustram, respectivamente, os contornos de fração de volume das fases gás, óleo e água.

Na Figura 4 é possível observar que a ausência de um defletor de entrada, as placas perfuradas são os primeiros dispositivos internos que os fluidos irão chocar-se ao entrarem no vaso separador. No entanto, embora tenham o objetivo de atenuar a velocidade desses fluidos, sem um dispositivo de entrada atuando de forma conjunta, é evidenciado uma grande dispersão de líquido na região de gás.

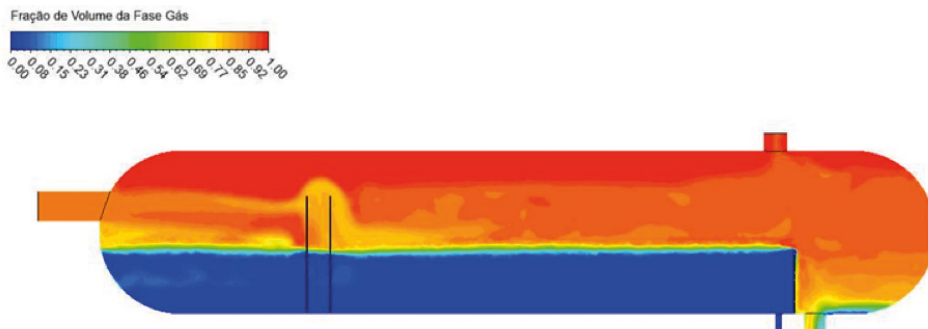


Figura 4- Campo de fração de volume da fase gás (Caso 1)

Fonte: Nascimento, 2023

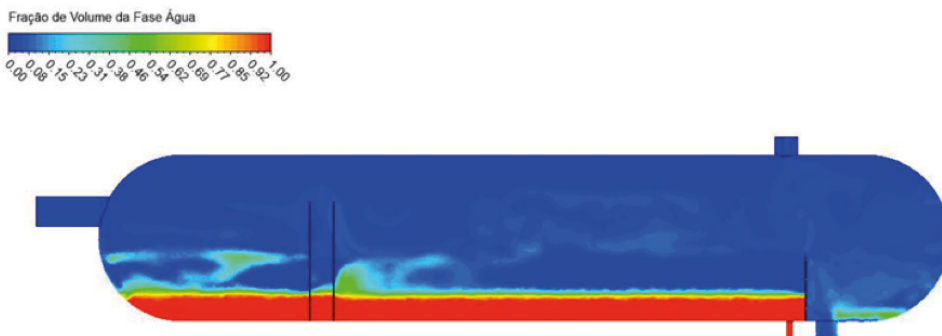


Figura 5- Campo de fração de volume da fase água (Caso 1)

Fonte: Nascimento, 2023

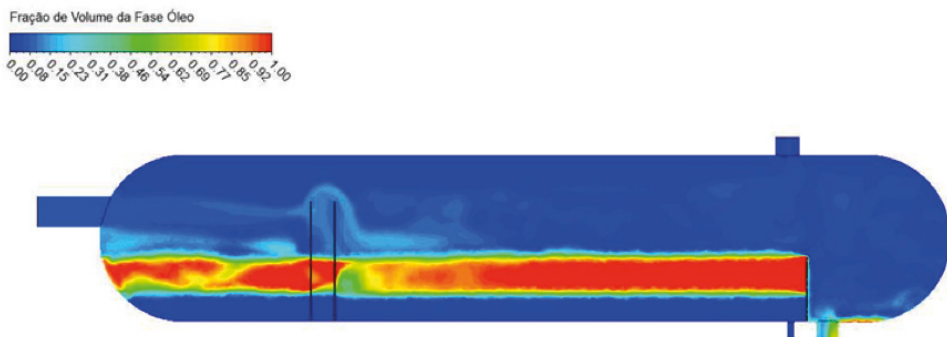


Figura 6- Campo de fração de volume da fase óleo (Caso 1)

Fonte: Nascimento, 2023

Assim como no caso 1, o nível de gás encontra-se na metade superior do vaso no caso 2 (Figura 7). O nível de líquido é dividido em duas camadas, uma de óleo (menos denso) e outra de água (mais densa), como pode ser visualizado nas Figuras 8 e 9. Neste sentido, por diferença de densidade e em função da ação da força gravitacional, a camada de óleo encontra-se acima da água livre (Figuras 8 e 9). Na ausência das placas perfuradas, o defletor em L será o único dispositivo presente antes da região de separação e na medida que se chocam com ele na entrada, os fluidos atravessam inicialmente a haste vertical, e posteriormente, a haste horizontal, ambas modeladas como meio poroso com uma porosidade de 70%. Essas zonas porosas têm a função de estabelecer uma resistência ao escoamento dos fluidos, reduzindo a velocidade dos fluidos e evitando que a zona de mistura provocada na entrada, se prolongue para a região de separação (zona superior de gás). Isso é importante, pois a mistura entre as fases na região de entrada, quando não dissipada na região de separação, atua na redução das eficiências de separação líquido/gás e líquido/líquido, uma vez que mais líquido poderá sair na saída de gás, assim como água na saída de óleo e óleo na saída de água.

Comparativamente com o caso 1, é possível observar pelos contornos de fração de volume do gás (Figura 7) uma menor presença de líquido na zona superior de gás (região de separação por gravidade), pode contribuir para que menos líquido venha a sair na saída de gás, o que pode favorecer a eficiência de separação gás/líquido.

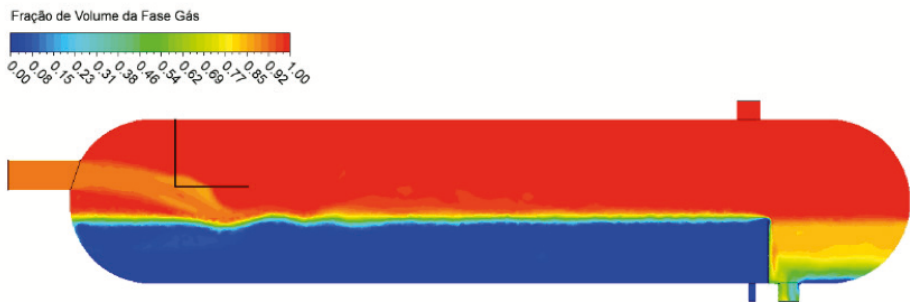


Figura 7- Campo de fração de volume da fase gás (Caso 2)

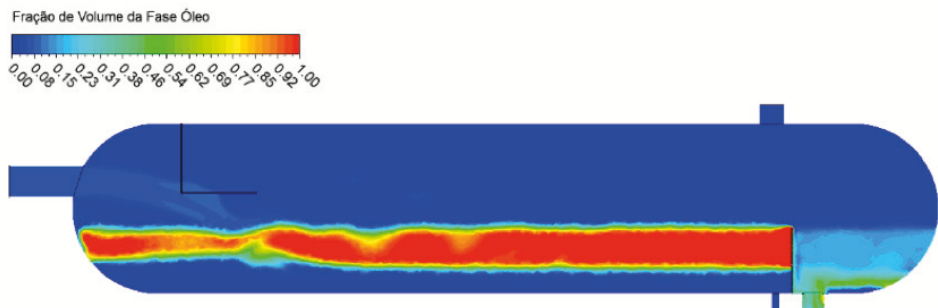


Figura 8- Campo de fração de volume da fase óleo (Caso 2)

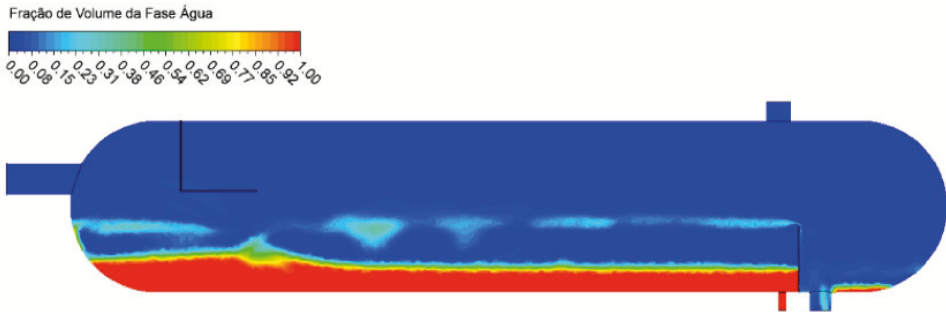


Figura 9- Campo de fração de volume da fase água (Caso 2)

A camada de óleo (Figura 8) se apresenta mais uniforme quando comparado ao caso 1. Por outro lado, embora nota-se uma redução da presença de água na parte superior da região de separação (Figura 7), o que pode reduzir a água na saída do gás, é possível constatar pelos contornos de fração de volume da Figura 9 que há presença de água na interface gás/óleo. A água se prolonga em toda interface até chegar no dispositivo *weir*. Isso pode contribuir para que a água venha a descer juntamente com o óleo pelo *weir* e sair na saída de óleo, reduzindo a eficiência de separação óleo/água, como também foi evidenciado em Nascimento (2023).

Nos contornos de fração de volume da água e do óleo, resultantes do caso 1 (Figuras 5 e 6), o contato com a borda superior das placas perfuradas provoca o deslocamento tanto da água, quanto do óleo para a região superior do vaso, e após isso, a água tende a se posicionar acima da camada de óleo, na interface óleo e gás. No caso 2, essa maior mistura na região superior de separação, não é observada, o que pode sugerir que a ausência das placas perfuradas tenha favorecido esse comportamento. No entanto, aumentando a velocidade de entrada dos fluidos, observamos nos contornos de fração de volume do gás, da água e do óleo do caso 3 (Figuras 10, 11 e 12), que embora a geometria seja a mesma do caso 2 e não haja placas perfuradas, percebe-se a presença zonas de ondulações e recirculações após a haste horizontal do defletor, levando a uma maior mistura do líquido na zona de gás, assim como no caso 1.

Diante do exposto, leva-se a concluir que em menores vazões, para as condições específicas estudadas, o uso de apenas um defletor em formato L e com ambas as hastes perfuradas, pode contribuir para a atenuação da velocidade dos fluidos na entrada e reduzir a mistura de líquidos arrastados para a zona de gás, conseqüentemente, poderá também evitar uma maior saída de óleo e água pelo bocal de saída de gás. Ainda, o estabelecimento de um escoamento mais uniforme pode reduzir a presença da fase água acima da camada de óleo e, conseqüentemente atuar na redução de sua saída misturada ao óleo. Por outro lado, para a mesma configuração geométrica do separador, dotado apenas dos dispositivos internos tipo defletor em L e *weir*, em maiores vazões, nota-se que os problemas

associados à mistura se propagam até a região de separação. De forma similar ao exposto por Nascimento (2023), é possível que a presença dos líquidos na região do gás possa ser minimizada com a ação conjunta entre os internos defletor tipo L e placas perfuradas, desde que seja avaliado também a influência da redução da altura das placas perfuradas, ou mesmo o uso de placas perfuradas de maior espessura e com o comprimento que atinja o topo do equipamento, como estudado por Nascimento (2017).

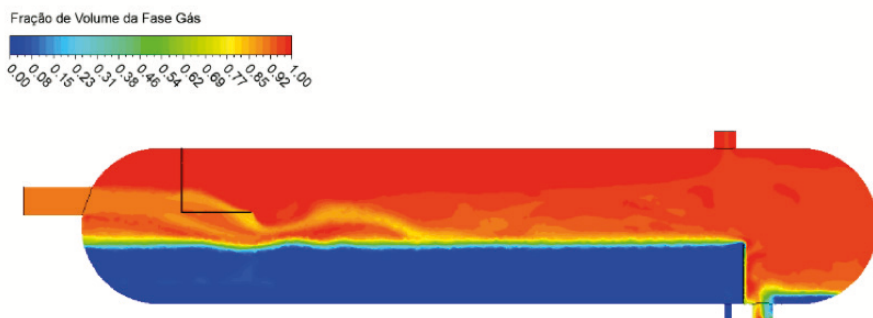


Figura 10- Campo de fração de volume da fase gás (Caso 2)

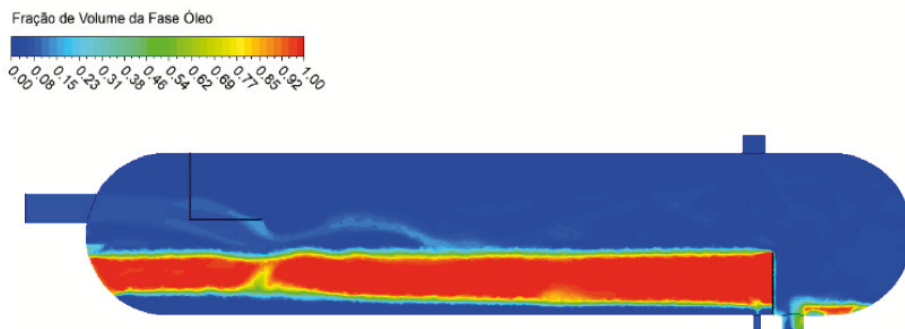


Figura 11- Campo de fração de volume da fase óleo (Caso 2)

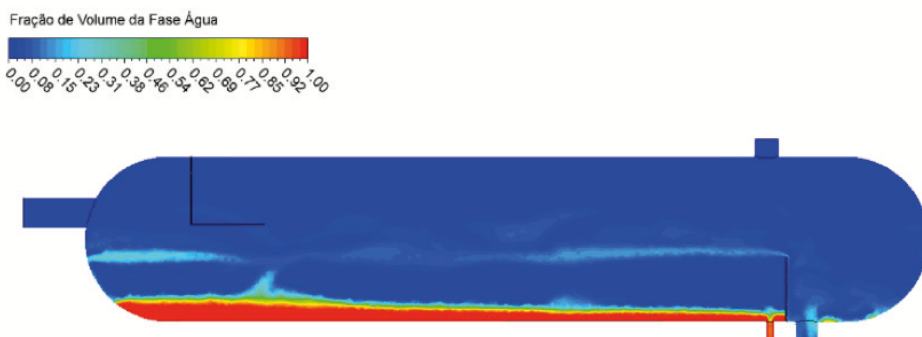


Figura 12- Campo de fração de volume da fase água (Caso 2)

CONCLUSÕES

A modelagem matemática utilizando o modelo VOF e o modelo de turbulência $k-\varepsilon$ padrão descreve fisicamente o comportamento fluidodinâmico do gás, óleo e da água durante o processo de separação das fases no vaso separador horizontal.

A utilização de um defletor perfurado em formato L sem a presença de placas perfuradas contribuiu para reduzir a presença de líquidos na região de separação do vaso separador horizontal trifásico, o que poderá melhorar a eficiência de separação gás-líquido.

Os resultados numéricos indicam que, ao aumentar a vazão de entrada, as zonas de mistura se intensificam e que a inserção de outros internos, tais como as placas perfuradas, poderia ser necessário para que se mantivesse menos zonas de recirculação na região de separação.

Por fim, destaca-se que é importante analisar a ação conjunta do defletor perfurado em formato L e de placas perfuradas em distintos comprimentos no interior do vaso separador horizontal trifásico.

REFERÊNCIAS

EFENDIOGLU, A.; MENDEZ, J.; TURKOGLU, H. **The numerical analysis of the flow and separation efficiency of a two-phase horizontal oil-gas separator with an inlet diverter and perforated plates.** *Advances in Fluid Mechanics X*. DOI: 10.2495/AFM140121. 2014.

GHAFFARKHAH, A.; SHAHRABI, A. M.; MORAVEJI, K. M.; ESLAMI, H. **Application of CFD for Designing Conventional Three Phase Oilfield Separator.** *Egyptian Journal of Petroleum*. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.06.003>>. 2017.

GHAFFARKHAH, A.; Shahrabi, A. M.; Moraveji, K. M. **3D Computational-Fluid-Dynamics Modeling of Horizontal Three-Phase Separators: An Approach for Estimating the Optimal Dimensions.** *SPE production & operations*. DOI: 10.2118/189990-PA. 2018 a.

GHAFFARKHAH, A.; DIJVEJIN, A. Z.; SHAHRABI, A. M.; MORAVEJI, K. M.; MOSTOFI, M. **Coupling of CFD and semiempirical methods for designing three-phase condensate separator: case study and experimental validation.** *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. Disponível em: < <http://doi.org/10.1007/s13202-018-0460-5>>. 2018b.

KHAROUA, N. KHEZZAR, L. SAADAWI, H. **Application of CFD to debottleneck production separators in a major oil field in the Middle East.** *SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, San Antonio, 8–10 October, 2012a.*

KHAROUA N., KHEZZAR, L., SAADAWI, H. **Using CFD to model the performance of retrofit production separators in Abu Dhabi.** *Abu Dhabi international petroleum conference and exhibition. Society of Petroleum Engineers.* 2012b.

KHAROUA, N.; KHEZZAR, L.; SAADAWI, H. **CFD simulation of three-phase separator: effects of size distribution.** *ASME Fluids Engineering Division Summer Meeting – FEDSM*. USA. 2013a.

KHAROUA, N; KHEZZAR, L; SAADAWI, H. **CFD Modelling of a Horizontal Three-Phase Separator: A Population Balance Approach**. American Journal Of Fluid Dynamics, [s.l], v. 1, n. 2168-4707, p.101-118, 2013b.

LU, Y., LEE, J.M., PHELPS, D. et al. Effect of Internal Baffles on Volumetric Utilization of an FWKO -A CFD Evaluation. Paper SPE 109944 presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Anaheim, California, USA, 11–14 November. <http://dx.doi.org/10.2118/109944-MS>. 2007.

MOKHATAB, S.; SPEIGHT, J. G.; POE, W. A. **Handbook of Natural Gas Transmission and Processing**. 2 ed. Elsevier. 2006.

NASCIMENTO, J. B. D. S. D. **Modelagem e Simulação de Um Vaso Separador Horizontal Bifásico**. 107p. Dissertação (mestrado) - Curso Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Campina Grande, 2017.

NASCIMENTO, J. B. D. S. D. **Análise do processo de separação gás-óleo-água em separadores horizontais: aspectos fluidodinâmicos e geométricos**. 219p. Tese (Doutorado) - Curso Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Campina Grande, 2023.

STEWART, M.; ARNOLD, K. **Surface Production Operation: Design of oil Handling Systems and Facilities**. Elsevier. Oxford. 3 ed. 2008.

SVRCEK, W. Y.; MONNERY, W. D. Successfully Specify Three-Phase Separators. Chemical Engineering Progress, p. 29 – 40.1994.

YAYLA, S.; KAMAL, K.; BAYRAKTAR, S.; ORUC, M. **Two Phase Flow Separation in a Horizontal Separator by Inlet Diverter Plate in Oilfield Industries**. International Journal of Mechanical And Production Engineering, ISSN: 2320-2092. 2017.

YAYLA, S.; KAMAL, K. BAYRAKTAR, S. **Numerical Analysis of a Two-Phase Flow (Oil and Gas) in a Horizontal Separator used in Petroleum Projects**. Journal of Applied Fluid Mechanics, 2018.

YU, P.; LIU, S.; WANG, Y.; LIN, W.; XIAO, Z.; WANG, C. **Study on Internal Flow Field of the Three-phase Separator with Different Entrance Components**. International Conference on Advances in Computational Modeling and Simulation. 2012.

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA: Técnico em Química pelo Colégio Profissional de Uberlândia (2008), Bacharel em Química pela Universidade Federal de Uberlândia (2010), Licenciado (2011) e Bacharel em Química Industrial (2023) pela Universidade de Uberaba (UNIUBE), em Ciências Biológicas (2021) e em Física (2022) pela Faculdade Única de Ipatinga (FUNIP). Especialista em Metodologia do Ensino de Química e em Ensino Superior pela Faculdade JK Serrana em Brasília (2012), especialista em Ensino de Ciências e Matemática pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro (2021), especialista em Ciências Naturais e Mercado de Trabalho (2022) pela Universidade Federal do Piauí (UFPI) e especialista em Química Analítica pela Faculdade Metropolitana do Estado de São Paulo (FAMEESP) em 2024. Mestre (2015) e doutor (2018) em Química Analítica pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Realizou o primeiro estágio Pós-Doutoral (de maio de 2020 a abril de 2022) e cursou o segundo estágio (2022-2024) na UFU com ênfase na aplicação de novos agentes oxidantes utilizando radiação solar para remoção de Contaminantes de Preocupação Emergente (CPE) em efluentes de uma estação de tratamento de esgoto. Atuou como técnico em laboratório/Química pelo Instituto Federal de Goiás (2010-2022), químico e responsável técnico pelos laboratórios da Unicesumar/Polo Patrocínio e professor do SENAI de Minas Gerais e Goiás. Atualmente é professor de química do Colégio Militar do Tocantins em Araguaína/TO. Atuando nas seguintes linhas de pesquisa: (i) Desenvolvimento de novas metodologias para tratamento e recuperação de resíduos químicos gerados em laboratórios de instituições de ensino e pesquisa; (ii) estudos de acompanhamento do CPE; (iii) Desenvolvimento de novas tecnologias avançadas para remoção de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (iv) Aplicação de processos oxidativos avançados ($H_2O_2/UV\ C$, $TiO_2/UV\ A$ e foto-Fenton e outros) para remoção de CPE em efluentes de estação de tratamento de efluentes para reuso; (v) Estudo e desenvolvimento de novos bioadsorventes para remediação ambiental de CPE em diferentes matrizes aquáticas; (vi) Educação Ambiental e; (vii) alfabetização científica e processos de alfabetização na área de Ciências Naturais, especialmente biologia e química. É membro do corpo editorial da Atena Editora desde 2021 e já organizou mais de 90 e-books e publicou 43 capítulos de livros nas diferentes áreas de Ciências da Natureza, Engenharia Química e Sanitária/Ambiental, Meio ambiente dentre outras áreas.

A

Aço 30, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 59, 60, 61

Água potável 26, 27

Águas pluviais 24, 25, 26, 27

Algoritmo genético canônico (AGC) 95

Análise de variância (ANOVA) 98, 111

Asymmetric slimflor beam (ASB) 44, 48, 49, 55, 56

Atividades acadêmicas 17, 18

B

Boca de lobo 24, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 38

C

Calibração 91, 92, 98, 99, 100, 102, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113

Chatbots 88, 96

Cimento 30, 32, 39

Cinemática 87, 89, 92, 94, 96

Cisalhamento 40, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58

Composite slim-floor beam (CoSFB) 46, 52, 56

Concreto 24, 25, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 59, 60, 61

Corpos hídricos 24

Corrosão 41

D

Deltabeam 50

Discentes 17, 18, 19, 20, 21, 22

Drenagem 24, 25, 26, 27, 39

Ductilidade 51

E

Edificações 62, 63, 64, 65, 67, 69, 78, 83, 85

Educação universitária 86, 87, 91, 92

Elasticidade 31

Engenharia de software 92

Enseñanza-aprendizaje 1, 2, 9

Enseñanza de la ingeniería 1, 2, 8

Ensino superior 17, 18, 127

Escoamento 27, 30, 55, 116, 117, 118, 119, 120, 122, 123

Escrita científica 17, 19, 22

Esgotamento sanitário 26, 27

F

Fachadas 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 84, 85

Fibra de vidro 24, 26, 30, 31, 32

Fissuração 30, 31

Fluidodinâmica computacional (CFD) 115, 117

Fluidos 116, 117, 119, 120, 121, 122, 123

Funções de densidade de probabilidade (FDP) 98

G

Gás 115, 116, 117, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126

Gás-líquido 125

Graduação 17, 19, 22, 23, 59, 86

I

Inteligência artificial 88, 90, 95, 96

L

Laje 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 61, 71, 80

M

Manifestações patológicas 62, 64, 65, 66, 69, 70, 72, 73, 75, 76, 78, 80, 82, 84, 85

Micrômetro 98, 99, 100, 106, 107, 108, 109, 111, 112

Modelagem matemática 117, 119, 125

O

Óleo 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126

Organização internacional para padronização (ISO) 88

P

Permeabilidade 24, 25, 26, 29, 30, 31, 35, 36, 37, 38

Pesquisa 17, 18, 19, 20, 22, 26, 31, 32, 39, 48, 49, 50, 51, 53, 56, 66, 84, 85, 88, 89, 100, 106, 113, 114, 117, 127

Piso misto 40, 41, 42, 43, 49, 52, 53, 54, 55, 56, 59

Pós-graduação 19, 22, 23, 59, 86

R

Redes neurais artificiais (RNA) 89

Resíduos sólidos 24, 26, 27

Resistência mecânica 26, 30

Revestimento 24, 25, 26, 29, 31, 38, 41, 62, 63, 64, 65, 68, 70, 71, 75, 76, 79, 80, 84

Revisão da literatura 40, 48

Robô 88, 89, 90, 91, 92, 95

Robótica cognitiva 87

Robótica colaborativa 88, 90, 91, 95, 96, 97

S

Saneamento básico 26, 27

Separadores 115, 116, 117, 126

Shallow cellular composite floor beam (SCCFB) 47, 51, 56

Simulação de monte carlo (SMC) 98, 100, 104, 106, 112

Sistemas computacionais inteligentes 87

Slim floor 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61

T

Tipologias 40, 42, 48, 52, 53, 55, 56, 62, 66, 69, 70, 72, 73, 75, 76, 78, 80, 84

Trifásico 115, 116, 117, 118, 119, 120, 125

Turbulência 83, 117, 119, 120, 125

V





Veículo aéreo não tripulado (VANT) 62, 64

Viga 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 59

Engenharias em perspectiva

ciência, tecnologia e inovação

4

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Engenharias em perspectiva

ciência, tecnologia e inovação

4

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br