

REVISTA



SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

Atendimento:
sodebras@sodebras.com.br
Acesso:
<http://www.sodebras.com.br>

ARTIGOS PUBLICADOS

PUBLICAÇÃO MENSAL
Nesta edição

O IMPACTO ECONÔMICO DOS INVESTIMENTOS MUNICIPAIS EM DECORAÇÃO NATALINA: UMA ANÁLISE DO GIRO FINANCEIRO EM LONDRINA EM 2023	
THE ECONOMIC IMPACT OF MUNICIPAL INVESTMENTS IN CHRISTMAS DECORATION: AN ANALYSIS OF FINANCIAL TURNOVER IN LONDRINA IN 2023 – Adriano Ribeiro dos Santos; Marcos J. G. Rambalducci	07
VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE APLICATIVO WEB PARA DOSAGEM DE CONCRETO PELO MÉTODO IPT-EPUSP	
EXPERIMENTAL VALIDATION OF WEB APPLICATION FOR CONCRETE MIXTURE DESIGN BY THE IPT-EPUSP METHOD – Augusto Bergamasco Brogatto; Douglas Lara Afonso; Elaine Regina Barreto; José Américo Alves Salvador Filho	16
OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NA CLIMATIZAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE CONDICIONADORES DE AR E VENTILADORES DE TETO – UMA REVISÃO LITERÁRIA	
ENERGY OPTIMIZATION IN CONDITIONING: INTEGRATION OF AIR CONDITIONERS AND CEILING FANS – A LITERATURE REVIEW – Jean Carlos Lourenço Costa; Talita Mariane Cristino; Agnelo Marotta Cassula; Antonio Faria Neto; Francisco Antonio Lotufo	27
ANÁLISE DA FORÇA DE FECHAMENTO EM COMPONENTES DE MOLDES DE INJEÇÃO ATRAVÉS DE ELEMENTOS FINITOS – Wellington de Sousa Meira; Jayan Ismar Lira Almeida; Ingrid Isabele Hipólito Araújo	36
COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FILAMENTOS PLA HT NATURAL UTILIZADOS EM IMPRESSÃO FDM	
ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF NATURAL PLA HT FILAMENT SAMPLES MANUFACTURED BY FDM PRINTING – Lucimar Venancio Amaral; Nicolly Amanda Silva Ávila; Augusto César Teixeira Malaquias; André Guimarães Ferreira	47
INVESTIGAÇÃO DO IMPACTO DE MISTURAS NÃO ESTEQUIOMÉTRICAS NO DESEMPENHO DE UM MOTOR MONOCILÍNDRICO DE PESQUISA MOVIDO A INJEÇÃO DIRETA DE GASOLINA	
INVESTIGATION OF THE IMPACT OF NON-STOICHIOMETRIC MIXTURES ON THE PERFORMANCE OF AN ENGINE POWERED BY GASOLINE DIRECT INJECTION – Lucimar Venancio Amaral; Gabriel Heleno de Paula Araújo; Augusto César Teixeira Malaquias; André Guimarães Ferreira	55



Edição 218 de fevereiro de 2024

<http://www.sodebras.com.br/>

ISSN - 1809-3957

DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957>

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza, UNESP-FEG (Editor Geral).
Prof. Dr. Paulo Jonas dos Santos Júnior, UNESP-FEG (Editor Adjunto).
Prof. Dr. Osiris Canciglieri Júnior, Lough. Univ-UK, PUC-PR.
Prof. Dr. Maria Cláudia Botan, UNIVESP.
Prof. Dr. Thais Santos Castro, UNESP.
Prof. Dr. Agustín Valverde Granja, Universidad de Ibagué- Colômbia.
Prof. Dr. Joacy de Lima Freitas Junior, Agência Nacional de Aviação Civil.
Prof. Dr. José Leandro Casa Nova Almeida, Instituto Federal-RJ.
Prof. Dr. Marcio Zamboti Fortes, UFF.
Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior, UTFPR.
Prof. Dr. José Rui Camargo, UNITAU.
Prof. Dr. José Renato de Oliveira Lima, Universidade Federal do Maranhão.

COMITÊ CIENTÍFICO

Valdir Agostinho de Melo, COPPE/UFRJ	Paulo Bassani, UEL
Juliana Corrêa Crepalde, CTIT/ UFMG	Marlene Marchiori, UEL
Lila Teixeira de Araújo Janahú, ESAMAZ	Carlos Humberto Martins, UEM
Volmer Avelino Silvio Paula da Silveira, Estácio	Paulo Fernando Soares, UEM
Durval Corrêa Meirelles, Estácio	Deisy Cristina Corrêa Igarashi, UEM
Ana D'Arc Martins de Azevedo, FAAM/UEPA	Moisés Meza Pariona, UEPG
Maria Lígia Carrijo Monteiro, FACEG	Jarem Raul Garcia, UEPG
Marcus Antonius Costa Nunes, Fac. Vale do Cricaré - PE	Elizabete Campos de Lima, UFABC
Zélia Maria De Melo De Lima Santos, FALUB.	Carlos Suetoshi Miyazawa, UFABC
Sérgio Roberto Montoro, FATEC - Pindamonhangaba	Marcio Zamboti Fortes, UFF
Claudio Antonio Frederico, IEAV / CTA	Pablo Silva Machado Bispo dos Santos, UFF
Maria Manuela Camino Feltes, IFC	Paulo Henrique Furtado de Araujo, UFF
Felipe José da Silva, IFRJ	Paulo Sérgio Scalize, UFG
Givanildo Alves dos Santos, IFSP	Juliana da Cunha, UFG
Paulo Marcos de Aguiar, IFSP	Hilton Pereira da Silva, UFPA
Airton Viriato de Freitas, INSTITUTO DE	Anderson Gonçalves da Silva, UFRA
INFECTOLOGIA EMÍLIO RIBAS	Antonio Carlos Baptista Antunes, UFRJ
Claudio Edilberto Höfler, Instituto Federal Farroupilha	Claudinei de Souza Guimarães, UFRJ
Leila Ribeiro dos Santos, ITA / CTA	Antônio Assis Vieira, UFRRJ
Letícia Peret Antunes Hardt, PUC –PARANÁ	Joel Dias da Silva, UFSC
Eduardo Concepción Batiz, SOCIESC	Leandro Belinaso Guimarães, UFSC
Marcelo Macedo, SOCIESC	Silvio Serafim da Luz Filho, UFSC
Ariovaldo de Oliveira Santos, UEL	Antonio Pedro Novaes de Oliveira, UFSC
André Luiz Martinez de Oliveira, UEL	Rozângela Curi Pedrosa, UFSC
Leonardo Sturion, UEL	Débora de Oliveira, UFSC
Jean-Marc Stephane Lafay, UEL	Fabiano Rodrigues de Souza, UFT -TO
Emília Kiyomi Kuroda, UEL	Cláudio Homero Ferreira da Silva, UFU
Henrique de Santana, UEL	Márcia Susana Nunes Silva, ULBRA
Marli Terezinha Oliveira Vannuch, UEL	Maria Eloisa Farias, ULBRA

Maria Lúcia Castagna Wortmann, ULBRA
 Hélio Raymundo Ferreira Filho, UNAMA/UEPA
 Maria Claudia Botan, UNESP
 Ana Maria Pires Soubhia, UNESP - Araçatuba
 Eduardo Maffud Cilli, UNESP - Araraquara
 Helena Carvalho de Lorenzo, UNESP - Araraquara
 Heitor Miranda Bottura, UNESP - Bauru
 Helio Grassi Filho, UNESP - BOTUCATU
 Lenisse Domingos dos Santos Cintra Lima, UNESP.
 Augusto Eduardo Baptista Antunes, UNESP.
 Durval Luiz Silva Ricciulli, UNESP - Guaratinguetá
 Francisco Antônio Lotufo, UNESP - Guaratinguetá
 João Zangrandi Filho, UNESP - Guaratinguetá
 José Feliciano Adami, UNESP - Guaratinguetá
 Leonardo Mesquita, UNESP - Guaratinguetá
 Marcio Abud Marcelino, UNESP - Guaratinguetá
 Messias Borges Silva, UNESP - Guaratinguetá
 Rubens Alves Dias, UNESP - Guaratinguetá
 Sílvia Maria A. Lima Costa, UNESP - Ilha Solteira
 Gláucia Aparecida Prates, UNESP - Itapeva
 Áureo Evangelista Santana, UNESP - Jaboticabal
 Teresa Cristina Tarele Pissarra, UNESP - Jaboticabal
 Gilda Carneiro Ferreira, UNESP - Rio Claro
 Fernando Luis Ferttonani, UNESP - São José do Rio Preto
 Azor Lopes da Silva Júnior, UNESP - São José do Rio Preto
 Andréa Rossi Scalco, UNESP - Tupã
 José Renato Oliveira de Lima, UNESP-IQ, Araraquara
 Luiz Antonio Rossi, UNICAMP
 Nelson Nunes Tenório Júnior, UNICESUMAR
 Luis Henrique de Carvalho Ferreira, UNIFEI - Itajubá
 Paulo Cesar Crepaldi, UNIFEI - Itajubá
 Robson Luiz Moreno, UNIFEI - Itajubá
 Tales Cleber Pimenta, UNIFEI - Itajubá
 Fernando das Graças Braga da Silva, UNIFEI - Itajubá
 Leonardo Bresghello Zoccal, UNIFEI-Itajubá
 Larissa Morimoto Doi, UNIFESP
 Fernando Kenji Nampo, UNIFIL
 Adriano Vargas Freitas, UNIGRANRIO
 Angelo Santos Siqueira, UNIGRANRIO
 Eline das Flores Victor, UNIGRANRIO
 Luiz Eduardo Silva Souza, UNIGRANRIO
 Michel Jean Marie Thiollent, UNIGRANRIO
 Abel Rodolfo Garcia Lozano, UNIGRANRIO / UERJ
 Lileane Praia Portela de Aguiar, UNINORTE.
 Eliane Cardoso Brenneisen, UNIOESTE
 Luiz Ernani Henkes, UNIPAMPA
 Maria Conceição de Oliveira, UNIPLAC
 Wilson Engelmann, UNISINOS
 Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia, UNITAU
 Pedro Paulo Leite do Prado, UNITAU
 Luiz Eduardo Nicolini do Patrocínio Nunes, UNITAU
 Adriana Araujo Diniz, UNIV. ESTADUAL DO
 MARANHÃO
 Danilo Émmerson Nascimento Silva, UNIV. FEDERAL DE
 PERNAMBUCO
 Adelar João Pizetta, UNIV. FEDERAL DO ESPÍRITO
 SANTO
 Adriana Fiorotti Campos, UNIV. FEDERAL DO ESPÍRITO
 SANTO
 Adriana Demite Stephani Carvalho, UNIV. FEDERAL DO
 TOCANTINS
 Ademir Gomes Ferraz, UNIV. FEDERAL RURAL DE
 PERNAMBUCO
 Rudimar Luís Scaranto Dazzi, UNIVALI
 Carlos Nabil Ghobril, Universidade de São Paulo - USP
 Filomena Maria Cordeiro Moita, Universidade Estadual da
 Paraíba
 Márcia Maria Melo Araújo, Universidade Estadual de Goiás
 Élsio José Corá, Universidade Federal da Fronteira do Sul -
 UFFS
 Edemar Rotta, Universidade Federal da Fronteira do Sul -
 UFFS
 Walter Roberto Hernández Vergara, Universidade Federal de
 Grande Dourados - FAEN-UFGD
 Édison Martinho da Silva Difante, Universidade Federal de
 Passo Fundo - RS
 Antonio Amaral Barbosa, Universidade Federal de Pelotas
 João Carlos Gomes, Universidade Federal de Rondônia
 ANA EUCARES VON LAER, Universidade Federal de
 Santa Maria - UFSM
 André Riani Costa Perinotto, Universidade Federal Do Piauí,
 Campus De Parnaíba
 Diogo da Silva Cardoso, UFRJ.
 Cláudia Moura de Melo, Universidade Tiradentes.
 Osvaldo Yoshimi Tanaka, USP
 Ana Cristina D'andretta Tanaka, USP
 Heloiza Helena Gomes de Matos, USP
 Rodrigo Pinto de Siqueira, USP - Lorena
 José Leandro Casa Nova Almeida, USS
 Adalberto Matoski, UTFPR
 Guataçara dos Santos Junior, UTFPR
 Rita de Cassia da Luz Stadler, UTFPR
 Juarez da Silva Thiesen, UTFPR
 Maria de Lourdes Bernartt, UTFPR
 Alessandro Jaquil Waclawovsky, UTFPR
 Pedro Ramos da Costa Neto, UTFPR
 Frieda Saicla Barros, UTFPR
 Rogério Marcos da Silva, UTFPR
 Gerson Máximo Tiepolo, UTFPR
 Jair Urbanetz Junior, UTFPR
 Ariel Orlei Michaloski, UTFPR
 Fabiana de Fátima Giacomini, UTFPR
 Ieda Viana, UTP
 Camila Nunes de Moraes Ribeiro, UTP
 Angela Ribas, UTP
 Sandro Germano, UTP
 Maria Rose Jane Ribeiro Albuquerque, UVA- Acaraú
 Luciano Silva Figueiredo, UFRGS
 Gerson dos Santos Lisboa, UFG-GO
 Laercio Gouvea Gomes – IFPA
 Fabrício Moraes de Almeida – UNIR



SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

ISSN: 1809-3957 / Prefixo DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957>

Vol. 19 – Nº 218 – FEVEREIRO/ 2024

EDITORIAL

A SODEBRAS – Soluções Para o Desenvolvimento do País – publica artigos científicos das mais diferentes áreas do conhecimento. Devido seu caráter interdisciplinar e a qualidade de seu corpo editorial a Revista tem sido utilizada por pesquisadores do Brasil e do mundo, para publicar estudos de alta relevância para o desenvolvimento técnico-científico da sociedade humana. Além disso, a SODEBRAS conta com o apoio da UNALAR, editora que está no mercado há mais de duas décadas; e também do ITANACIONAL, instituto de ensino e pesquisa localizado em Cisneiros - distrito de Palma-MG. Para contribuir com uma dinâmica ainda maior, no que diz respeito à circulação e a produção do conhecimento, a SODEBRAS adota uma periodização mensal. Sabe-se que em um mundo de rápidas mudanças e de constantes transformações a ciência precisa estar na vanguarda da propagação de informações. Além disso, as edições possuem formato eletrônico de acesso livre e gratuito, assim como indexação nacional e internacional.

De acordo com a classificação dos periódicos avaliados pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (QUALIS / CAPES), somos extrato B2, o que demonstra a seriedade do trabalho realizado pela revista.

No mês de fevereiro, seis artigos compõe a edição 218. A investigação científica nasce do desejo do observador em solucionar algo que lhe inquieta, e, a partir de procedimentos e métodos busca observar, investigar, questionar as possibilidades até alcançar as possíveis respostas.

A divulgação científica é de suma importância para o desenvolvimento social, tecnológico e acadêmico.

Boa leitura

Prof. Dr. Paulo Jonas dos Santos Júnior

Editor Adjunto – Revista SODEBRAS

Área: Ciências Humanas e Sociais

6-3	<p>O IMPACTO ECONÔMICO DOS INVESTIMENTOS MUNICIPAIS EM DECORAÇÃO NATALINA: UMA ANÁLISE DO GIRO FINANCEIRO EM LONDRINA EM 2023</p> <p>THE ECONOMIC IMPACT OF MUNICIPAL INVESTMENTS IN CHRISTMAS DECORATION: AN ANALYSIS OF FINANCIAL TURNOVER IN LONDRINA IN 2023</p> <p>Adriano Ribeiro dos Santos; Marcos J. G. Rambalducci</p>
-----	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

O IMPACTO ECONÔMICO DOS INVESTIMENTOS MUNICIPAIS EM DECORAÇÃO NATALINA: UMA ANÁLISE DO GIRO FINANCEIRO EM LONDRINA EM 2023

THE ECONOMIC IMPACT OF MUNICIPAL INVESTMENTS IN CHRISTMAS DECORATION: AN ANALYSIS OF FINANCIAL TURNOVER IN LONDRINA IN 2023

Adriano Ribeiro dos Santos ¹

Marcos J. G. Rambalducci ²

Resumo –A atual gestão municipal de Londrina, tem investido na decoração de final de ano em logradouros públicos objetivando atrair turistas locais e regionais, focada em criar uma circulação de pessoas com o propósito de dinamizar todo o segmento de prestação de serviços decorrente desta movimentação. No entanto, ainda não foram realizados estudos buscando mensurar o resultado econômico de tal medida. Este trabalho, de caráter descritivo e quantitativo, buscou identificar este impacto de maneira a permitir futuras comparações com outras possibilidades de utilização do erário, bem como informar a comunidade quanto aos resultados alcançados. Com base no levantamento do afluxo e gastos diários incorridos pelos turistas quando em visita ao mais representativo dos logradouros decorados, no período de 30/12/23 a 06/01/24, e valendo-se do conceito de efeito multiplicador dos gastos, esta análise concluiu que tal movimentação financeira é capaz de gerar um impacto econômico 10 vezes maior em relação ao investimento inicial.

Palavras-chave: *Efeito Multiplicador da Renda. Investimento Público. Turismo Interno.*

Abstract - The current municipal management of Londrina has invested in end-of-year decoration in public places with the aim of attracting local and regional tourists, focused on creating a circulation of people with the purpose of boosting the entire service provision segment resulting from this movement. However, no studies have yet been carried out seeking to measure the economic result of such a measure. This work sought to identify this impact in order to allow future comparisons with other possibilities for using the treasury, as well as informing the community about the results achieved. Based on a survey of the influx and daily expenses incurred by tourists when visiting the most representative of decorated places, in the period from 12/30/23 to 01/06/24, and using the concept of spending multiplier effect,

¹ Graduando em Engenharia de Produção da UTFPR campus Londrina/PR e bolsista do Núcleo de Pesquisas Econômicas Aplicadas - NuPEA da UTFPR-LD. Contato: adriano.2023@alunos.utfpr.edu.br.

² Economista e Doutor em Administração, professor de Economia na UTFPR campus Londrina e coordenador do Núcleo de Pesquisas Econômicas Aplicadas - NuPEA da UTFPR-LD. Contato: mrambalducci@utfpr.edu.br.

this analysis concluded that such financial movement is capable of generating an economic impact 10 times greater in relation to the initial investment.

Keywords: *Income Multiplier Effect. Public Investment. Domestic Tourism.*

I. INTRODUÇÃO

A temporada natalina não apenas celebra festividades, mas também se revela como uma significativa oportunidade para impulsionar de maneira vigorosa a economia local. O turismo se configura como uma alternativa viável para o desenvolvimento econômico, social e cultural, contribuindo para a arrecadação tributária do município e gerando empregos tanto de forma direta quanto indireta e o poder público tem papel preponderante na implementação de estratégias de marketing que destaquem os atrativos do município, com o objetivo de sustentar e expandir a atividade turística na região (Cassilha *et al.*, 2014).

Em diversas cidades ao redor do mundo, líderes e empreendedores têm percebido a temporada de Natal como um catalisador econômico, investindo não apenas em decorações deslumbrantes, mas também na criação de eventos que atraem visitantes e fomentam negócios locais (Egresi *et al.*, 2021).

Londrina tem buscado abraçar essa visão, compreendendo que a atmosfera festiva não é apenas uma expressão cultural, mas uma estratégia para dinamizar sua economia e tem realizado investimentos em decorações e iluminações natalinas em vários logradouros do município objetivando atrair turistas locais e regionais, focada em criar uma circulação de pessoas com o propósito de dinamizar todo o segmento de prestação de serviços decorrente desta movimentação.

O problema que se apresenta é a inexistência de estudos que busquem identificar a eficácia e validade da utilização do erário com tal propósito - o de ser um estímulo à economia local. Para tal, se faz necessário examinar o impacto direto sobre setores-chave, como comércio varejista, hotelaria e gastronomia, buscando correlações entre o aumento na visitação decorrente da atração natalina e o incremento nas transações comerciais.

Somente por meio de um levantamento abrangente e criterioso desses indicadores será possível concluir de maneira convincente que o investimento na decoração natalina não apenas encanta visualmente, mas, de fato, catalisa ganhos tangíveis para a economia local.

Este estudo buscou responder a seguinte questão: ***qual o giro financeiro resultante do investimento realizado pelo município de Londrina na decoração natalina em 2023?*** Explorar essa questão não apenas permitirá compreender a magnitude imediata desse esforço, mas também abrirá caminho para a avaliação de seu legado econômico a longo prazo.

Não é o propósito aqui, um aprofundamento em modelos voltados a identificar os efeitos multiplicadores dos gastos, mas tão somente adotar um procedimento razoavelmente aceito que permita concluir, ao menos de forma aproximada, qual foi o resultado da alocação de recursos públicos neste projeto de fomento ao turismo local.

II. O EFEITO MULTIPLICADOR DOS GASTOS

Quando um investimento (gasto) é feito, seja ele realizado por agentes privados (empresas ou consumidores) ou públicos (governo) ele permite um aumento proporcional ao seu tamanho na produção e por consequência haverá um impacto maior sobre as rendas (Góes; Gadelha, 2019).

As rendas são usadas de duas maneiras: em primeiro lugar podem se transformar em poupança ou de outra maneira, podem se transformar em novos gastos. A parte poupada fica por um tempo indefinido fora do circuito do consumo enquanto a outra parte é reinjetada, estimulando a produção.

O estímulo na demanda provocada por gastos (investimento) depende, portanto, da propensão a poupar ou propensão a consumir dos agentes econômicos. A propensão marginal a consumir é a medida de quanto de um incremento na renda é canalizado para o consumo enquanto a propensão marginal a poupar diz respeito a quanto de um incremento na renda é retido na forma de poupança.

Quanto maior a parcela da renda é gasta, ou seja, quanto maior for a propensão marginal a consumir, mais a produção é estimulada, pressionada pelo aumento na demanda, em um movimento de retroalimentação conhecido como efeito multiplicador, desenvolvido pelo economista britânico John Maynard Keynes.

O multiplicador keynesiano é um efeito de segunda ordem sobre o sistema econômico criado pelo investimento (ou gasto autônomo), onde este gasto inicial, resulta em um aumento equivalente na renda que em parte é destinada ao consumo, que se torna renda para outros agentes econômicos. Cada vez que ocorre um novo ciclo, a renda adicional resultante é menor do que a anterior porque nem toda a renda adicionada e canalizada para o consumo (Mankiw, 2021).

A fórmula básica para o cálculo do multiplicador Keynesiano com governo é:

$$m = \frac{1}{(1 - PmgC) \cdot (1 - T)} \quad (1)$$

Onde:

m é efeito multiplicador dos gastos

$PmgC$ e propensão marginal a consumir

T é o impostos sobre o consumo

A propensão marginal a consumir é maior para pessoas de renda menor pois estas costumam ter necessidades mais prementes, como alimentos, moradia e cuidados básicos, e, portanto, tendem a alocar uma maior proporção de sua renda para o consumo. Cada aumento na renda dessas pessoas é mais propenso a ser direcionado para a satisfação dessas necessidades básicas.

Por outro lado, à medida que a renda aumenta, as necessidades básicas são mais facilmente atendidas, e as pessoas podem começar a priorizar a poupança e o investimento, reduzindo a propensão marginal a consumir.

Estudo levado a cabo por Pitombo Leite (2015) procurou identificar como a distribuição de renda afeta a propensão marginal a consumir das famílias brasileiras. Com base nos dados das Pesquisas de Orçamentos Familiares (POF) de 2008-2009, o autor faz um ensaio da propensão marginal a consumir agregada e obtém o valor de 0,805, que utilizaremos para efeito dos cálculos do multiplicador.

Outra investigação do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA de 2022, estima a incidência tributária sobre a renda das famílias com os dados das Pesquisas de Orçamentos Familiares (POF) de 2017-2018 empregando os valores dos tributos sobre a renda e o patrimônio apurados na pesquisa e os gastos com bens e serviços de consumo aos quais são aplicadas alíquotas efetivas da tributação indireta, que resultou em uma carga tributária líquida média de 18,74%, (Silveira *et al.*, 2022), valor este que será utilizado na aplicação da fórmula do cálculo do multiplicador.

III. METODOLOGIA

Este trabalho, de caráter descritivo - definido como aquela que se propõe a expor os dados de determinada população ou fenômeno sem contudo se aprofundar no porque dessas características (Malhotra, 2019), e quantitativo - uma vez que utiliza a quantificação nas modalidades de coleta de informações e no seu tratamento (Creswell; Creswell, 2021), tem por objetivo calcular a movimentação financeira provocada pelo investimento inicial realizado pela Prefeitura Municipal de Londrina na decoração de Natal no ano de 2023.

Para obter o valor total da movimentação financeira provocada por tal investimento, o primeiro passo é determinar o valor do gasto dos visitantes aos logradouros que receberam a decoração, aqui definido pelos autores como gasto autônomo induzido, entendido como aquele gasto que ocorre somente a partir de uma motivação inexistente anteriormente. A motivação que passou a existir é a de visitar tais logradouros para apreciar sua decoração.

A coleta de dados foi centrada na principal atração, a Arvore de Natal de 27 metros no centro da passarela flutuante sobre o lago Igapó II. Portanto, a população alvo da pesquisa são os visitantes a este logradouro, entre 30 de novembro de 2023 e 06 de janeiro de 2024, no horário compreendido entre 19:00 e 23:59.

O tamanho da amostra foi definido utilizando-se a fórmula de cálculo amostral para populações infinitas (acima de 10.000 elementos), conforme explicitado por Mattar (2001), com nível de confiança de 95% e um erro máximo de 5%, o que resultou em uma amostra de 370 sujeitos. Em razão da dificuldade prática de estipular uma seleção aleatória dos sujeitos, optou-se por fazer uma seleção aleatória dos dias para a coleta de dados.

Das 38 datas possível dentro da abrangência da pesquisa, foram selecionadas aleatoriamente 7 delas valendo-se da planilha excel na função =ALEATORIOENTRE(A1; A2) e a cada dia selecionado foram aplicados 60 questionários.

O Questionário foi utilizado como instrumento de coleta de dados. Depois de realizados os pré-testes ficou composto de 9 perguntas de respostas fechadas (dicotômicas e escolha múltipla), que buscaram identificar a procedência do visitante, como se deslocou, sua motivação para a visita, quantas pessoas compõe seu grupo, tempo de visitação, se utilizou a passarela sobre o lago, quanto gastou ou pretendia gastar, sua faixa de renda e número de vezes que visitaria o mesmo logradouro.

Estas informações permitiram tanto caracterizar o visitante quanto calcular o montante gasto por pessoa a cada visita (gasto autônomo induzido), a partir da soma dos gastos declarados com os gastos de deslocamento. Para estabelecer o total de visitantes por dia ao logradouro foram utilizados os dados registrados na catraca de acesso à passarela sobre o lago multiplicado pela proporção de visitantes que não a utilizaram, dado colhido no questionário.

Uma vez estabelecido o valor do gasto autônomo induzido, é aplicada a equação do efeito multiplicador keynesiano, para calcular o giro financeiro resultante. A aplicação desta equação exige definir outras duas variáveis – a propensão marginal a consumir, neste caso utilizado o valor obtido por Pitombo Leite (2015) e a carga tributária líquida incidente sobre o consumo das famílias, percentual este apresentado em trabalho do IPEA (2022).

A partir da obtenção do valor do giro financeiro resultante, a divisão deste pelo valor do investimento inicial realizado pela municipalidade na decoração de Natal permite obter o giro financeiro resultante a cada Real aplicado neste investimento.

IV. INVESTIMENTOS REALIZADOS

A prefeitura de Londrina, por meio do Instituto de Desenvolvimento de Londrina (CODEL), realizou investimentos em decorações e iluminações natalinas em vários logradouros do município, sendo que o de maior envergadura foi no Lago Igapó II, mas foram contemplados também o Lago Cabrinha e Lagoa Dourada, Calçadão, rotatórias e praças, prédios da Prefeitura e da Câmara Municipal, os distritos rurais: Warta, Maravilha, Irerê, Paiquerê. Guaravera e Lerroville, Catedral, alamedas Miguel Blasi e Manoel Ribas e trechos da avenida Saul Elkind e das ruas Sergipe e Benjamin Constant.

Os investimentos foram dedicados a enfeites como: árvore de natal e adereços, pinheiros, anjos, guirlandas, papai-noel e Nossa Senhora, cometas e bengalas, caixa de presente, túnel de neon, letreiros de “Feliz Natal” e “Feliz 2024”, decoração de postes e de árvores naturais e contorno com cordão de LED em postes ornamentais, bem como a uma passarela flutuante sobre o lago Igapó II, com cerca de 200 metros de extensão, que permite a travessia pelo Lago, de um lado a outro, passando por entre pórticos alusivos à virada do ano, com a entrada em ‘2023’ e saída em ‘2024’ .

A definição da empresa para a execução dos serviços foi realizada por meio de processo licitatório tendo por vencedora a empresa Ativa Atacado com um valor de contrato de R\$ 3,26 milhões (Marconi, 2023).

V. RESULTADOS

Com base nos dados coletados por meio da aplicação do questionário foi possível caracterizar o público que afluí ao logradouro quanto a sua procedência e forma de deslocamento, a motivação para sair de casa, particularidades de consumo (gastos, tempo no local, tamanho do grupo) e faixa de renda.

Quanto a procedência, 49% dos visitantes são de Londrina, enquanto 22% procedem de cidades que compõe a Região Metropolitana de Londrina, 18% são de outras cidades do Paraná enquanto 11% procedem de cidades de outros estados notadamente de São Paulo.

Daqueles que são da própria cidade, prepondera moradores da Região Sul com 39% do total, seguido por moradores da Região Norte com 19%. Com procedência do Centro da Cidade são 15% dos visitantes, da Região Leste 11% e o mesmo percentual de 8% são aqueles visitantes de Londrina que vem da Região Leste da cidade ou dos distritos.

A maioria dos visitantes (90%) de desloca com carro próprio, 5% utilizam Taxi ou Uber, 3% fazem o deslocamento em ônibus, e 2% o fazem em bicicleta ou a pé. O tempo médio dedicado a visitação   de 1 ¼ hora.

A renda média das famílias que realizam a visitação a este logradouro   de R\$ 4.553,47 sendo que a faixa de 2 a 10 salários-mínimos   prevalente com 82% dos respondentes se declarando como tal. Os grupos de visitação são compostos na maioria por 3 pessoas.

O gasto médio por visitante no local é de R\$ 35,07, sendo que praticamente 61% gastam R\$ 17,22 enquanto 10% declararam gastar R\$ 100,00 por visitante. A Tabela 1 mostra a distribuição percentual de pessoas e o gasto médio ponderado por visitante.

Tabela 1 – Percentual de pessoas e gasto médio ponderado.

% dos visitantes	Gasto individual (R\$)
60,9	17,22
23,6	47,14
5,4	62,50
10,1	100,00
média ponderada por visitante	35,07

Fonte: os autores.

Para cada pessoa que fez uso da passarela (tabela 2) outra declarou que não a utilizou, seja porque não tinha interesse, não quis pegar a fila de acesso ou simplesmente não pôde fazê-lo pelo número de interessados ter ultrapassado o limite de segurança estipulado para realizar o trajeto simultaneamente.

Tabela 2 – Afluxo diário à passarela entre 30/11/2023 e 06/01/2024.

	segunda	terça	quarta	quinta	sexta	sábado	domingo
semana 1				1.634	1.785	fechado	2.517
semana 2	2.940	2.168	2.380	fechado	2.735	2.830	fechado
semana 3	2.646	2.546	2.551	2.433	2.919	3.374	2.982
semana 4	2.786	2.618	2.760	2.822	3.441	fechado	2.870
semana 5	fechado	3.225	3.479	3.632	3.354	4.233	5.003
semana 6	fechado	2.640	2.773	2.735	3.452	4.001	
	8.372	13.197	13.943	11.622	15.901	14.438	10.855

Fonte: os autores.

Considerando esta proporção de pessoas que foram até o logradouro, mas não utilizaram a plataforma flutuante, o total de visitantes é na média diária de 4.962 pessoas.

O gasto autônomo induzido ao longo do período de análise compreendido de 30 de novembro de 2023 a 06 de janeiro de 2024, portanto 38 dias, pode ser projetado a partir do valor médio de gastos por visitante e o total de visitantes diários ao logradouro. Desta forma:

$$38 \times 4.962 \times 35,07 = \text{R\$ } 6.612.659,00$$

Este é o valor base utilizado para obter o fluxo de circulação financeira aplicando-se a fórmula do efeito multiplicador dos gastos. O efeito multiplicador dos gastos é a quantidade de renda que é gerada para cada unidade adicional de gasto autônomo.

Esse efeito ocorre porque os gastos autônomos provocam um aumento na renda e no consumo das famílias e das empresas. As famílias que recebem salários ou transferências do governo gastam parte desse dinheiro, o que aumenta a renda das empresas que fornecem bens e serviços. Essas empresas, por sua vez, pagam salários e impostos, o que gera renda adicional para as famílias e assim por diante.

O tamanho do efeito multiplicador calculado aqui utilizou a propensão marginal a consumir das famílias em 0,98 (Pitombo Leite, 2015). A utilização desta propensão marginal a consumir levou em conta a renda média das famílias entrevistadas, na faixa de 4 salários-mínimos, ou seja, dentro do conjunto dos 90% mais pobres que, segundo o autor mencionado, apresentam tal propensão a consumir. Para a carga tributária líquida

média sobre o consumo é utilizado os dados estimados por Silveira, *et al* (2022) de 18,74%.

$$m = \frac{1}{1 - 0,98 (1 - 0,1875)} \rightarrow m = 4,92$$

Este efeito multiplicador aplicado ao gasto autônomo, resulta em:

$$4,92 \times 6.612.659,00 = \text{R\$ } 32.534.282,00$$

Este valor representa o giro financeiro resultante do investimento realizado pelo município de Londrina na decoração natalina em 2023 nos 38 dias que compreenderam este estudo. Com base neste giro financeiro resultante e o valor do investimento realizado é possível calcular o resultado em termos de giro financeiro provocado por cada real investido na decoração. Para tanto basta dividir o valor do investimento pelo giro financeiro provocado a partir dele:

$$32.534.282 / 3.260.000 = 9,98 \text{ vezes}$$

Portanto, a cada R\$ 1,00 gasto pela municipalidade com a decoração natalina foi capaz de induzir um fluxo financeiro de R\$ 9,98. Este estudo não teve por propósito analisar a viabilidade econômica do investimento realizado pela municipalidade, mas sim o de dimensionar o impacto que tal investimento provoca localmente em termos de giro financeiro.

Vale lembrar também que os cálculos realizados neste levantamento consideraram unicamente os gastos incorridos pelos visitantes que declararam como sua primeira motivação para deixar suas casas o interesse na visita ao principal logradouro a receber a decoração de iluminação natalina. Não foram considerados também aquelas pessoas que saíram de suas casas com o propósito de visitar outros locais que receberam decoração natalina, embora tenham sido considerados a totalidade dos custos incorridos pela municipalidade para este projeto de iluminação.

Desta forma é possível que os valores aqui considerados estejam subestimados.

VI. CONCLUSÃO

O gasto autônomo induzido em decorrência da visita ao logradouro em razão da decoração natalina monta a R\$ 6.612.659,00. Considerando uma propensão a consumir de 98% e tributação de 18,74%, o total do impacto foi na ordem de R\$ 32.534.282,00. Como o investimento na decoração realizados pela municipalidade foi de R\$ 3.260.000,00 milhões, a cada real investimento no projeto gerou uma movimentação 9,98 vezes maior.

Outras pesquisas de natureza semelhante a esta, envolvendo o investimento em eventos esportivos apresentam multiplicadores na casa de 8 a 9 vezes (Carvalho; Silva, 2010). Pesquisa buscando identificar o efeito multiplicador de investimento no turismo de compras na cidade de Ponta Porã/MS na divisa com o Paraguai obteve um efeito multiplicador de 2,86 vezes (Pereira *et al.*, 2014). De forma mais abrangente, pesquisa realizada por Rezende, Lima e Velozo (2021), buscou identificar o multiplicador de gastos públicos no período de 1990 a 2019, concluindo que para nossa economia este efeito estaria em 1,8 vezes considerando uma economia aberta.

Estes resultados revelam que o investimento realizado pela municipalidade de Londrina no fomento ao turismo proporcionado pela decoração natalina é relevante e

permitirá ter um parâmetro de comparação com outras alternativas para a utilização dos recursos públicos.

VII. REFERÊNCIAS

- CARVALHO, P. G.; SILVA, A. J. Efeito multiplicador dos gastos em eventos desportivos: Impactos simples, mas necessários para políticas desportivas robustas. **Economia Contemporânea**: Rio de Janeiro, v. 14, n. 2, p. 209-236, maio/ago. 2010.
- CASSILHA, A. N.; DA SILVA, A. G.; SILVA, B. J.; MATTOZO, G. O.; FREITAS, T. E.; MELLO, C. M. Perfil e satisfação do consumidor/frequentador da festa feira agrícola e artesanal de Morretes-Pr. **Revista Sodebras [on line]**, v.9 n. 103, jul 2014. Disponível em:< <https://www.sodebras.com.br/edicoes/n103.pdf>.> Acesso em: 09 jan. 2024.
- CRESWELL, J. W.; CRESWELL, J.D. **Projeto de pesquisa**: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 5 ed. Porto Alegre: Penso, 2021.
- EGRESI, I.O., RACASAN, B.S., DEZSI, S., ILIEA, M. AND ILIEAS, G. (2021). Christmas markets in city centers: how do they impact local residents and businesses?, **International Journal of Tourism Cities**, Vol. 7 No. 2, pp. 391-409. <https://doi.org/10.1108/IJTC-03-2020-0040>, 2021.
- MANKIW, N. G. **Macroeconomia**. 10 ed. São Paulo: Atlas, 2021.
- MARCONI, G. Decoração de Natal 2023 será feita por empresa londrinense pelo 2º ano consecutivo. **Folha de Londrina**: Londrina, 25 out 2023.
- GÓES, G. S.; GADELHA, S. R. B. **Macroeconomia**. Salvador: Juspodium, 2019.
- MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing**: Uma Orientação Aplicada. Porto Alegre: Bookman, 2019.
- MATTAR, F. N. **Pesquisa de marketing**: edição compacta. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- PITOMBO LEITE, F. Como o grau de desigualdade afeta a propensão marginal a consumir? Distribuição de renda e consumo das famílias no Brasil a partir dos dados das POF 2002-2003 e 2008-2009. **Economia e Sociedade**. Campinas: Unicamp, 2015.
- PEREIRA, C. H; MARTINS, P. C. S.; LUNAS, J. R. S.; AQUINO, J. M. Efeito multiplicador do turismo na fronteira entre Brasil e Paraguai. **Turismo & Sociedade**: Curitiba, v. 7, n. 4, p. 792-814, out. 2014.
- REZENDE, E. H; LIMA, D. J. P.; VELOSO, M. V. S. Multiplicadores de gastos e vazamentos de renda: evidências preliminares para o Brasil. *In*: Anais do 14º Encontro Internacional da Associação Keynesiana Brasileira: o Brasil em um mundo em transformação. **Anais eletrônico [...]**. São Bernardo do Campo, UFABC, 2021.
- SILVEIRA, F. G.; PALOMO, T. R.; CORNELIO, F. M.; TONON, M. R. **Tributação indireta**: alíquotas efetivas e incidência sobre as famílias. Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2022.

VIII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

Área: Ciências Exatas e Engenharias

3-1	<p>VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE APLICATIVO WEB PARA DOSAGEM DE CONCRETO PELO MÉTODO IPT-EPUSP</p> <p>EXPERIMENTAL VALIDATION OF WEB APPLICATION FOR CONCRETE MIXTURE DESIGN BY THE IPT-EPUSP METHOD</p> <p>Augusto Bergamasco Brogatto; Douglas Lara Afonso; Elaine Regina Barreto; José Américo Alves Salvador Filho</p>
3-4	<p>OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NA CLIMATIZAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE CONDICIONADORES DE AR E VENTILADORES DE TETO – UMA REVISÃO LITERÁRIA</p> <p>ENERGY OPTIMIZATION IN CONDITIONING: INTEGRATION OF AIR CONDITIONERS AND CEILING FANS – A LITERATURE REVIEW</p> <p>Jean Carlos Lourenço Costa; Talita Mariane Cristino; Agnelo Marotta Cassula; Antonio Faria Neto; Francisco Antonio Lotufo</p>
3-5	<p>ANALYSIS OF CLAMPING FORCE IN INJECTION MOLD COMPONENTS THROUGH FINITE ELEMENTS</p> <p>ANÁLISE DA FORÇA DE FECHAMENTO EM COMPONENTES DE MOLDES DE INJEÇÃO ATRAVÉS DE ELEMENTOS FINITOS</p> <p>Wellington de Sousa Meira; Jayan Ismar Lira Almeida; Ingrid Isabele Hipólito Araújo</p>
3-5	<p>COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FILAMENTOS PLA HT NATURAL UTILIZADOS EM IMPRESSÃO FDM</p> <p>ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF NATURAL PLA HT FILAMENT SAMPLES MANUFACTURED BY FDM PRINTING</p> <p>Lucimar Venancio Amaral; Nicolly Amanda Silva Ávila; Augusto César Teixeira Malaquias; André Guimarães Ferreira</p>
3-5	<p>INVESTIGAÇÃO DO IMPACTO DE MISTURAS NÃO ESTEQUIOMÉTRICAS NO DESEMPENHO DE UM MOTOR MONOCILÍNDRICO DE PESQUISA MOVIDO A INJEÇÃO DIRETA DE GASOLINA</p> <p>INVESTIGATION OF THE IMPACT OF NON-STOCHIOMETRIC MIXTURES ON THE PERFORMANCE OF AN ENGINE POWERED BY GASOLINE DIRECT INJECTION</p> <p>Lucimar Venancio Amaral; Gabriel Heleno de Paula Araújo; Augusto César Teixeira Malaquias; André Guimarães Ferreira</p>

VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DE APLICATIVO WEB PARA DOSAGEM DE CONCRETO PELO MÉTODO IPT-EPUSP

EXPERIMENTAL VALIDATION OF WEB APPLICATION FOR CONCRETE MIXTURE DESIGN BY THE IPT-EPUSP METHOD

Augusto Bergamasco Brogatto¹
Douglas Lara Afonso²
Elaine Regina Barreto³
José Américo Alves Salvador Filho⁴

Resumo – O concreto, como o segundo material mais consumido globalmente, desempenha um papel crucial na estabilidade e resistência das construções. Contudo, sua composição varia de acordo com as propriedades dos materiais utilizados e as propriedades requeridas para o concreto, tornando a dosagem precisa vital para garantir a qualidade das estruturas. Este estudo valida um aplicativo web de dosagem de concreto pelo método IPT-EPUSP, utilizando materiais do laboratório da empresa "Grupo Ideal" de São Sebastião. O objetivo é comparar os resultados obtidos via aplicativo com os experimentais em laboratório. A validação inclui duas etapas: a primeira busca curvas de dosagem para concretos convencionais e de alta resistência, enquanto a segunda molda corpos de prova a partir de traços do aplicativo para resistências de 30 MPa e 70 MPa aos 28 dias. Os resultados indicam consistência entre os métodos, destacando a eficácia do aplicativo.

Palavras-chave: Concreto Convencional. Concreto de Alto Desempenho. Dosagem. IPT-EPUSP. Aplicativo.

Abstract - Concrete, as the second most globally consumed material, plays a crucial role in the stability and strength of constructions. However, its composition varies according to the properties of the materials used and the required properties for concrete, making precise dosage essential to ensure the quality of structures. This study validates a web-based concrete dosage application using the IPT-EPUSP method, employing materials from the laboratory of the "Grupo Ideal" company in São Sebastião. The goal is to compare the results obtained through the application with those from experimental laboratory tests. The validation comprises two stages: the first seeks dosage curves for conventional and high-strength concretes, while the second molds test specimens based on application-generated mixes for strengths of 30 MPa and 70 MPa at 28 days. The results indicate consistency between the methods, highlighting the effectiveness of the application.

Keywords: Ordinary Concrete. High-Performance Concrete. Mixture Design. Ipt-Epusp. Application.

¹ Graduando de Engenharia Civil (IFSP/Campus Caraguatatuba). Contato: bergatto.augusto@gmail.com.

² Docente de Engenharia Civil (IFMS/Campus Jardim). Contato: douglas.afonso@ifms.edu.br.

³ Docente de Engenharia Civil (IFSP/Campus Caraguatatuba). Contato: elaine.barreto@ifsp.edu.br.

⁴ Docente de Engenharia Civil (IFSP/Campus Caraguatatuba). Contato: jasalvador@ifsp.edu.br.

I. INTRODUÇÃO

O concreto é o material de construção mais utilizado pela humanidade devido a sua trabalhabilidade, resistência, durabilidade, e pela facilidade de elaboração e simplicidade dos seus materiais constituintes. Estas características possibilitam construir novas edificações que irão contribuir para o desenvolvimento. No entanto, para que esse material atenda às demandas específicas de cada projeto, é fundamental realizar uma análise minuciosa da dosagem de seus componentes. A grande variabilidade entre os materiais que compõem o concreto requer atenção especial, pois o uso inadequado ou proporções incorretas podem comprometer a integridade estrutural e, conseqüentemente, a sua segurança. Elaborar um concreto satisfatório para uma obra e específica e gerir os materiais componentes de forma que não haja desperdício é uma tarefa difícil para qualquer profissional da área. Por esse motivo, há uma série de métodos de dosagem e ferramentas para garantir a qualidade do concreto, dois deles são os mais utilizados no Brasil, o ABCP e o IPT, de acordo com Lopes *et al.* (2020):

“O método de dosagem da ABCP possui como desvantagem o fato que os valores, a partir dos quais é realizado o proporcionamento dos materiais, são todos tabelados. Tais dados são limitados, portanto não abrangem todos os tipos de materiais existentes (Lopes *et al.*, p.3, 2020)”.

O método IPT-EPUSP, resultado da colaboração entre o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), é uma abordagem avançada para a dosagem de concreto. O método visa otimizar as proporções dos materiais, alcançando um equilíbrio entre desempenho e durabilidade do concreto. Sua aplicação envolve rigorosos testes e análises, contribuindo significativamente para a produção de concretos de alta qualidade na indústria da construção. Desenvolvido com base na expertise de renomados pesquisadores, incluindo Paulo Helene, o método IBRACON (Tutikian; Helene, 2011) entende que a melhor proporção entre os agregados disponíveis é aquela que consome a menor quantidade de água para obter um dado abatimento. As equações necessárias para a confecção dos diagramas de dosagem são: “Lei de Abrams” (1) representada no primeiro quadrante através do método dos mínimos quadrados, nele é utilizada a resistência e a relação a/c nos eixos, sendo eles inversamente proporcionais; “Lei de Lyse” (2) está no quarto quadrante e nela está presente as relações a/c e o teor de agregados/cimento, contemplando o slump; e “Lei de Molinari” (3), presente no terceiro quadrante, utiliza o consumo de cimento e o teor de agregados/cimento numa relação inversamente proporcional, sendo calculado o consumo por m^3 ; representadas respectivamente a seguir:

$$f_c = \frac{k_1}{k_2^c} \quad (1)$$

$$m = k_3 + k_4 \cdot a/c \quad (2)$$

$$C = \frac{1000}{k_5 + k_6 \cdot m} \quad (3)$$

Sabendo que “ f_c ” é a resistência a compressão atingida em MPa após uma idade de “ j ” dias, “ a/c ” é a relação água-cimento, “ m ” é o somatório dos agregados miúdos e graúdos, “ C ” é o consumo de cimento em metros cúbicos e “ k_i ” são os coeficientes das

leis de comportamento acima, sendo “i” os números para identificação, que são calculados pelo aplicativo e dependem das características dos agregados, aglomerante, quantidade de água e a interação entre eles.

Sabendo disso, Flor (2021) elaborou um aplicativo web para fazer essa dosagem de concreto e garantir que o traço elaborado seja satisfatório para determinada resistência. Porém para garantir que tal aplicativo realmente funciona, ele deverá ser testado experimentalmente, pois na sua confecção a parte de programação e cálculos já foram validados, e este trabalho tem como objetivo validar o aplicativo web com a dosagem completa utilizando o método IPT com dois diferentes tipos de concreto, sendo um concreto convencional (CC) e outro concreto de alto desempenho (CAD), neste será utilizado aditivo superplastificante e pozolânico para atingir maiores resistências (Sá *et al.*, 2021).

As vantagens em utilizar um software para auxiliar a dosagem do concreto são consideráveis, sendo elas a praticidade na produção do concreto, automatização na produção, reduzindo o erro humano, economia de materiais, redução de custo e tempo de dosagem de concreto, otimização do processo de produção, garantia da qualidade do produto e maior eficiência na gestão de materiais evitando o desperdício. Ademais, de acordo com Londero, Klein e Mazer (2021), a indústria do cimento é responsável por 7% das emissões de gás carbono, um dos maiores responsáveis pelo aquecimento global, logo qualquer redução no consumo do mesmo beneficiaria o meio ambiente.

Na literatura técnica e científica é possível encontrar exemplos de aplicativos desenvolvidos com intuito de auxiliar a dosar concretos ou argamassas. Santos (2022) utiliza os ábacos do método ABCP e dados médios das propriedades físicas dos materiais utilizados em seu estudo, o que torna o aplicativo restrito a materiais com propriedades semelhantes, podendo gerar resultados imprecisos aos usuários que utilizam materiais diversos. Nicoletto (2023) utiliza o método da maturidade para estimar a resistência à compressão nas idades de controle usando a equação tempo-temperatura. O autor relata resultados satisfatórios, e talvez tal método poderia ser adicionado no aplicativo validado neste estudo.

Um terceiro aplicativo utiliza a Lei de Abrams (Gonçalves, 2022), porém o aplicativo não determina a resistência à compressão dos traços, gerando apenas resultados de volumes de concreto a ser produzido e a quantidade de cimento por sacos de 50 kg. Desta forma, o conhecimento prévio em dosagem e controle tecnológico por parte dos profissionais que utilizam este aplicativo é necessário para complementar os resultados. Por fim foi analisado o trabalho realizado por Mesquita (2019) e nele foi feito um estudo sobre a reutilização de dez resíduos da construção civil em sete tipos de concretos, totalizando 41 traços diferentes que atendem uma gama considerável de estilos e aplicações do concreto, sendo eles salvos em uma interface que possibilita a pesquisa de materiais, traços e resistências; ademais é sustentável ao reciclar resíduos de obras, logo pode-se constatar que ter uma base de dados interativa salva no aplicativo é favorável para sua utilidade e eficácia.

O estudo descrito neste artigo aborda uma validação experimental de um aplicativo web, em uma pesquisa realizada no Centro de Pesquisa e Inovação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis (CEPIN-CIS) do IFSP campus Caraguatatuba, com apoio da “IDEAL Infraestrutura e Montagens LTDA”. Este projeto enquadra-se em uma série de iniciativas desenvolvidas no âmbito do CEPIN-CIS, visando aprimorar e aplicar metodologias inovadoras na área da construção civil. Especificamente, o aplicativo foi projetado para facilitar a dosagem de misturas de concreto utilizando o método IPT-EPUSP, apresentando-se como uma ferramenta prática para profissionais e estudantes do ramo da engenharia civil.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nesta pesquisa foram: brita 1, brita 0, areia artificial, cimento CPV ARI RS LIZ, aditivo superplastificante redutor de água tipo 2 PowerFlow 3000, Sílica ativa em suspensão Centrilit Fume S e água. As ferramentas e máquinas utilizadas são: Betoneira de 150 L, balança digital de até 50 kg, ferramentas para o teste de slump (tronco de cone de 10x20x30 cm, placa metálica, concha, soquete, régua, funil e uma colher de pedreiro), moldes cilíndricos de 10x20cm para os corpos de prova (CPs), prensa hidráulica manual e retífica vertical.

As características dos materiais utilizados estão presentes na Tabela 1 e 2:

Tabela 1 - Caracterização dos agregados.

Composição granulométrica		Areia artificial	Brita 0	Brita 1
Dimensão máxima (mm)		4,75	12,5	19
Módulo de finura		2,82	5,94	6,85
Torrões de Argila (%)		0,22	-	-
Absorção (%)		0,4	1,1	0,8
Pulverulento (%)		7,3	0,7	0,5
Abrasão Los Angeles (%)		-	41	36
Índice de Vazios (%)	Solto	40	45	45
	Compacto	33	43	42
Massa Unitária (kg/m ³)	Solto	1590	1440	1460
	Compacto	1760	1490	1550
Densidade (kg/m ³)	Aparente Seca	2,64	2,62	2,64
	S.S.S	2,65	2,65	2,67

Fonte: ABCP, 2023a, b e c.

Tabela 2 - Caracterização do aditivo, sílica e cimento.

Característica	PowerFlow 3000	Centrilit Fume S	CPV ARI RS LIZ
Massa específica (kg/m ³)	1,06	1,38	3,05
Dosagem máxima (%)	≤2	≤20	-

Fonte: MC Bauchemie Brasil, 2023 e 2022a, ECL, 2022b.

A matéria-prima para a produção do concreto foi subsidiada pela empresa “IDEAL Infraestrutura e Montagens LTDA” de São Sebastião, bem como seus equipamentos e espaço físico do laboratório de concreto localizado na matriz da empresa, seguindo as diretrizes da NM 79 (1996). Com um software de cálculo de dosagem (O.Dosador) confiável e preciso, é possível otimizar o processo de produção de concreto e garantir a sua qualidade, podendo ser utilizado por esta. Por protocolo da empresa é feito uma análise desses materiais para que tenha controle da produção, conforme descrito no Laudo Técnico emitido pela Associação Brasileira de Cimento Portland (2023a, b e c) e Fichas Técnicas fornecidas pela MC Bauchemie Brasil (2023 e 2022a) e Empresa de Cimentos LIZ (2022b), com os resultados apresentados nas tabelas acima.

Para a realização das dosagens através do método IPT-EPUSP, foram escolhidas as dimensões máximas dos agregados graúdos, sendo a brita 1 para o CC e brita 0 para o CAD, depois um abatimento deve ser fixado para toda a dosagem, sendo ele de 130 mm e 240 mm, respectivamente. Outro passo é estabelecer uma resistência média que se deseja alcançar em determinada idade, foi estabelecido 30 MPa para o CC e 70 MPa para o CAD com 28 dias de cura.

Com isso é possível escolher no mínimo três traços diferentes, classificados como Médio (M), Rico (R) e Econômico (E) mas que sejam próximos ao traço resposta, como exemplo do método é sugerido 1 : m-1, 1 : m e 1 : m+1; nesse trabalho foi utilizado 1 : 4 (CC - R); 1 : 5 (CC - M) e 1 : 6 (CC - E) para o concreto convencional e 1 : 3 (CAD - R); 1 : 3,8 (CAD - M) e 1 : 4,6 (CAD - E) para o concreto de alto desempenho.

O próximo passo de acordo com o método consiste em misturar diferentes proporções dos materiais em laboratório, buscando encontrar a mistura ideal para atingir a trabalhabilidade desejada, ou seja, um abatimento constante. Para isso, o conteúdo de argamassa seca é variado começando com a proporção de 30% e aumentando em incrementos de 2% até encontrar o ponto ótimo. Essa determinação é feita através da observação visual do traço e do manuseio com uma colher de pedreiro.

Após a determinação experimental do teor de argamassa, os demais traços foram repetidos com a relação a/c para manter o abatimento, assim, foi realizado o ensaio de massa específica do concreto no estado fresco, moldar 12 corpos de prova para os 6 traços e romper no ensaio de compressão com o concreto endurecido, sendo no total 72 CPs. Coletar as resistências nas idades de 3, 7 e 28 dias de cura submerso em água e com o auxílio do aplicativo, calcular os coeficientes “ki” das leis de comportamento.

O processo de confeccionar os corpos de prova consistiu na utilização de moldes cilíndricos com medidas de 10x20 cm. A compactação do concreto, direcionada pelo seu grau de slump, foi executada de maneira manual utilizando um soquete e dando 15 golpes entre as duas camadas. Tanto as etapas de moldagem quanto de compactação seguiram as orientações delineadas pela NBR 5738 (2016).

O procedimento de Teste de Abatimento foi executado com o intuito de avaliar as características de consistência do concreto empregado, de acordo com as diretrizes estabelecidas na norma NBR 16889 (2020), que abrange a metodologia para aferição da consistência através da redução do cone truncado.

A avaliação da massa específica do concreto fresco, de acordo com a norma NBR 9833 (2009) é calculada dividindo-se a massa pelo volume, fornecendo uma medida da densidade do concreto. As amostras de ensaio foram acondicionadas em uma câmara de cura úmida, mantida a uma temperatura de (23 ± 2) °C, totalmente submersas em água para que seja feita a cura úmida, e foram retiradas das moldagens após 24 horas, em concordância com as diretrizes estabelecidas pela norma NBR 5738 (2016). A determinação da resistência à compressão de 4 corpos de prova para cada idade (3, 7 e 28 dias), sendo feito a retífica vertical nas duas faces dos CPs, seguindo as diretrizes da NM 77 (1996) e rompidos no ensaio de compressão de acordo com a NBR 5739 (2018).

Elaboração das curvas de dosagem manual e através do software, com os coeficientes “ki” foi comparado os resultados obtidos em ambos; o diagrama de dosagem presente neste trabalho foi elaborado pelos autores no aplicativo “OrigemPro”. Logo foi possível calcular traços utilizando o aplicativo, para o CC foi determinado 30 MPa após 28 dias e 70 MPa para o CAD na mesma idade. A moldagem de corpos de prova e verificação da resistência com um traço obtido em cada uma das curvas de dosagem e afirmar se o aplicativo é ou não confiável para a confecção da dosagem de concreto pelo método IPT-EPUSP.

III. DOSAGEM EXPERIMENTAL DOS CONCRETOS

A dosagem foi feita seguindo as diretrizes citadas acima e foi possível desenvolver a Tabela 3. O teor de argamassa determinado como ótimo foi de 58 % para o CC pela observação visual, já para o CAD foi necessária uma adaptação aos passos do método IPT-EPUSP por conta da agilidade e dificuldade em fazer a adição de pequenas quantidades de argamassa com todos os demais materiais até se encontrar o ponto ótimo. A princípio foi escolhida a porcentagem de 55% de argamassa e no primeiro teste ela apresentou uma ótima consistência, sendo esse o teor adotado.

Tabela 3 - Traços dos Concretos Convencionais (CC) e Concretos de Alto Desempenho (CAD) obtidos.

Traços	m	CPV	Areia	Brita 01	Brita 0	Aditivo	Sílica	a/c
CC - M	5,0	1,00	2,48	2,52	-	-	-	0,65
CC - R	4,0	1,00	1,90	2,10	-	-	-	0,55
CC - E	6,0	1,00	3,06	2,94	-	-	-	0,71
CAD - M	3,8	1,00	1,64	-	2,16	0,015	0,15	0,26
CAD - R	3,0	1,00	1,20	-	1,80	0,015	0,15	0,19
CAD - E	4,6	1,00	2,08	-	2,52	0,015	0,15	0,34

Fonte: Elaboração própria. 2023.

m = Soma dos agregados secos;

a/c = Relação água e cimento;

M = Traço médio;

R = Traço rico;

E= Traço econômico;

Após a confecção dos CPs e coleta da massa específica do concreto, o ensaio de compressão foi reproduzido seguindo as orientações da norma NBR 5739 e a média dos resultados estão presentes na Tabela 4:

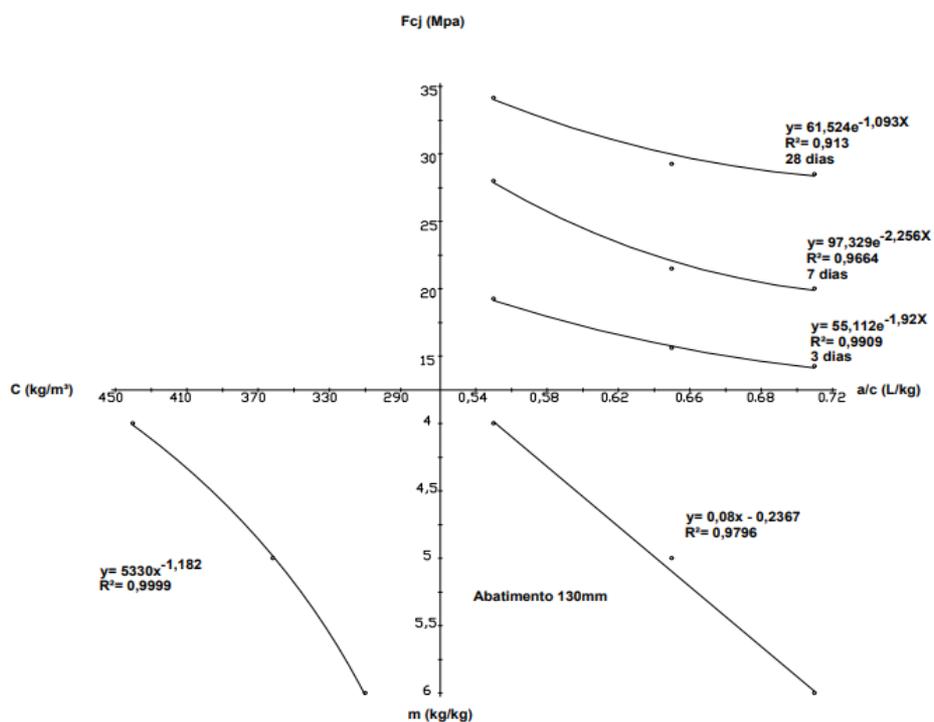
Tabela 4 - Média das resistências obtidas dos traços de Concreto Convencional (CC) e Concreto de Alto Desempenho (CAD) em MPa.

Tempo (dias)	CC			CAD		
	Traço M	Traço R	Traço E	Traço M	Traço R	Traço E
3	15,53	19,30	14,26	46,64	63,86	37,19
7	21,51	28,61	20,16	59,18	79,52	48,55
28	29,25	34,15	28,91	76,02	83,61	64,10

Fonte: Elaboração própria. 2023.

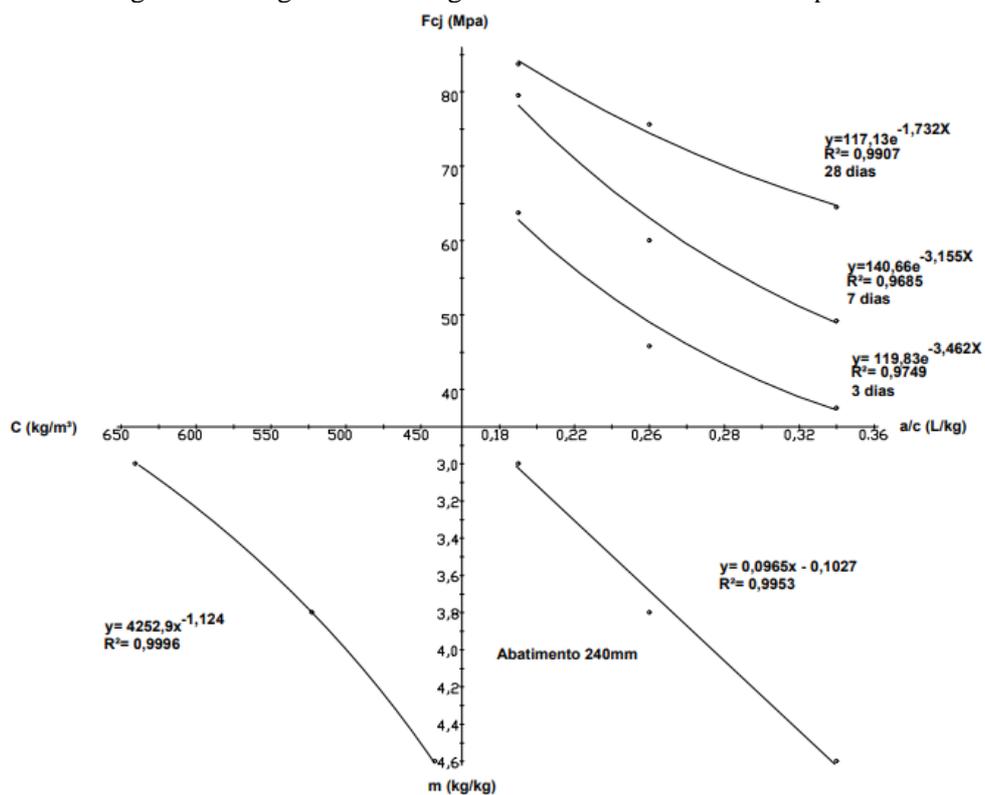
Analisando os dados obtidos é possível afirmar que o traço CAD - R teve esse comportamento por conta da resistência de seu agregado graúdo, ademais sabendo que todos os traços de concreto com agregados graúdos ao longo da história da empresa “IDEAL” não obtiveram uma resistência maior que 85 MPa. Logo é possível construir o diagrama de dosagem para cada concreto, presentes nas Figuras 1 e 2 a seguir:

Figura 1 – Diagrama de dosagem do concreto convencional.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

Figura 2 – Diagrama de dosagem do concreto de alto desempenho.



Fonte: Elaboração própria, 2023.

IV. VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL DO APLICATIVO

Os dados das dosagens realizadas acima que foram adicionados no aplicativo são: a soma dos agregados (m) para cada um dos 3 traços de cada tipo de concreto, o slump e o teor de argamassa adotado, a massa específica de cada traço, quantos litros de água foram utilizados e a média das resistências de cada concreto aos 7 e 28 dias.

Com isso foi possível calcular um traço para cada tipo de concreto, sendo eles presentes na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 - Traços do Concreto Convencional (CC) e Concreto de Alto Desempenho (CAD) calculados.

Traços	m	CPV	Areia	Brita 01	Brita 0	Aditivo	Sílica	a/c
CC - f_{cd} 30	5,3	1,00	2,67	2,66	-	-	-	0,66
CAD - f_{cd} 70	4,2	1,00	1,86	-	2,34	0,015	0,15	0,31

Fonte: Elaboração própria. 2023.

Com os traços já definidos foi possível moldar 12 CPs para cada traço, colher a massa específica de cada um e posteriormente fazer o ensaio de compressão após 3, 7 e 28 dias novamente; logo a média dos resultados estão na Tabela 6:

Tabela 6 - Média das resistências dos traços de Concreto Convencional (CC) e do Concreto de Alto Desempenho (CAD) do aplicativo em MPa.

Tempo (dias)	Traço CC	Traço CAD
3	17,34	41,14
7	23,73	49,41
28	29,62	67,61

Fonte: Elaboração própria. 2023.

Com tais resultados foi possível compará-los com a resistência média de dosagem (f_{cd}) desejada obtido pelo aplicativo, portanto é possível afirmar que as diferenças percentuais estão na casa do 1% para o concreto convencional e 3% para o de alto desempenho, porém houve resultados que superaram a f_{cd} desejada, dando assim a segurança da qualidade do produto aos 28 dias, logo os traços calculados pelo app são confiáveis e garantem uma dosagem bem elaborada.

V. CONCLUSÃO

Frente aos dados obtidos nesse estudo podemos concluir que, com base nos resultados apresentados na Tabela 6, é possível realizar uma análise comparativa entre as resistências médias dos traços de Concreto Convencional (CC) e do Concreto de Alto Desempenho (CAD) em diferentes intervalos de tempo. Notavelmente, observa-se que as resistências do CAD são consistentemente superiores às do CC em todos os períodos analisados. Ao confrontar esses dados com a resistência média de dosagem (f_{cd}) desejada inserida no aplicativo para a obtenção dos traços, verifica-se que as diferenças percentuais entre as resistências medidas e a resistência desejada estão dentro de margens aceitáveis, situando-se em torno de 1% para o concreto convencional e 3% para o de alto desempenho. No entanto, é importante ressaltar que alguns resultados

individuais excederam a resistência desejada, o que evidencia a confiabilidade dos traços calculados pelo aplicativo e a garantia de uma dosagem bem elaborada. Assim, os resultados obtidos fornecem segurança quanto à qualidade do produto, especialmente aos 28 dias de idade, indicando que os traços de concreto recomendados pelo aplicativo são robustos e confiáveis para a obtenção de resistências desejadas.

Desta forma, a pesquisa contribui para uma compreensão mais ampla das metodologias de dosagem de concreto e a integração de tecnologia nas práticas da construção. Os resultados do estudo apoiam a adoção do aplicativo web em escala operacional, oferecendo uma ferramenta confiável para a dosagem do concreto. Para este fim, aprimoramentos para melhoria da usabilidade são necessárias e justificadas para avanços futuros da ferramenta web.

O estudo também destacou a importância da dosagem precisa de concreto em projetos de construção, com o aplicativo web validada sendo uma ferramenta que possibilita para a indústria, aprimorando a eficiência de produtores e fornecedores de concreto, garantindo a qualidade das estruturas.

VI. REFERÊNCIAS

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Laudo Técnico sobre caracterização de agregado miúdo - Pó de Pedra**. São Paulo: ABCP, 2023a.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Laudo Técnico sobre caracterização de agregado graúdo - Brita 0**. São Paulo: ABCP, 2023b.

ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Laudo Técnico sobre caracterização de agregado graúdo - Brita 1**. São Paulo: ABCP, 2023c.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **NBR 5739**: Concreto. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

_____. **NBR 7211**: Agregado para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

_____. **NBR 7212**: Execução de concreto em central. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **NBR 7218**: Agregados – Determinação do Teor de Argila em Torrões e Materiais Friáveis. Rio de Janeiro: ABNT, 2010

_____. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais. Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. **NBR 9833**: Concreto fresco – Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico – Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland. Preparo, controle e recebimento. Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

_____. **NBR 16.889**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

_____ **NBR 16.916:** Agregado miúdo – Determinação da densidade e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____ **NBR 16.917:** Agregado graúdo – Determinação da densidade e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____ **NBR 16.972:** Agregados – Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____ **NBR 16.973:** Agregados – Determinação do teor de material fino que passa através da peneira # 75µm. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____ **NBR 16974:** Agregado Graúdo – Determinação do desgaste de abrasão Los Angeles. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____ **NBR 17054:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

_____ **NM 77:** Concreto - Preparação das bases dos corpos-de-prova e testemunhos cilíndricos para ensaio de compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

_____ **NM 79:** Concreto - Preparação de concreto em laboratório. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ANTÔNIO, P. G. S. **Criação de aplicativo para cálculo de traço e volume de concreto em canteiro de obra.** 2020. 26 p. Trabalho de Conclusão de Curso — UNIPAC, Teófilo Otoni, Minas Gerais, 2020. Disponível em: https://repositorio.alfaunipac.com.br/publicacoes/2020/370_criacao_de_aplicativo_para_calculo_de_traco_e_volume_de_concreto_em_ca.pdf. Acesso em: 7 jul. 2023.

ECL – Empresa de Cimentos LIZ SA – **Boletim de análises de cimento para controle de qualidade do CP V ARI RS** (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial Resistência à Sulfatos). São Paulo: ECL, 2022b.

FLOR, Vinicius Duo Gitti. **Desenvolvimento de um aplicativo web para dosagem de concreto pelo método IPT-EPUSP.** 2021. 34 p. TCC (Graduação) - Curso Bacharelado em Engenharia Civil, IFSP-Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de São Paulo, Caraguatatuba, 2021.

LONDERO, Carolina; KLEIN, Nayara Soares; MAZER, Wellington. Study of low-cement concrete mix-design through particle packing techniques. **Journal of Building Engineering**, v. 42, p. 103071, out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103071>. Acesso em: 14 jan. 2024.

LOPES, Herbert Medeiros Torres; PEÇANHA, Ana Carolina Corsi; CASTRO, Alessandra Lorenzetti de. Considerações sobre a eficiência de misturas de concreto de cimento Portland com base no conceito de empacotamento de partículas. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 25, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1517-707620200001.0874>. Acesso em: 14 jan. 2024.

MC - Bauchemie Brasil. **Ficha Técnica sobre Centrlit Fume S** - Sílica ativa em suspensão para concretos de alto desempenho. São Paulo: MC, 2022a.

MC - Bauchemie Brasil. **Ficha Técnica sobre MC – PowerFlow 3000** – Aditivo redutor de água tipo 2 – RA2 (superplastificante PCE de pega normal). São Paulo: MC, 2023a.

MESQUITA, F. J. M. **Desenvolvimento de um aplicativo móvel para promover o reaproveitamento de resíduos na dosagem de concreto.** Dissertação (Mestrado) – UFPA, Tucuruí, p.150, 2019.

NICOLETTO, G. G. **Avaliação da estimativa de resistência para concreto convencional por meio do desenvolvimento de aplicativo para smartphone pelo método da maturidade.** 2023. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso — UCS, Bento Gonçalves, Caxias do Sul, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/12490> . Acesso em: 8 jul. 2023.

SÁ, Ayrton Wagner dos Santos Gomes de et al. Evaluation of compressive strength of concrete with metakaolin using different levelling techniques. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. e31510313341, 17 mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i3.13341>. Acesso em: 15 jan. 2024.

SANTOS, J. R. **Desenvolvimento de aplicativo de celular capaz de realizar a dosagem do concreto, calcular o Fc28 e exibir traços usuais de argamassa.** 2022. 19 p. Trabalho de Conclusão de Curso — UFRN, Natal, Rio Grande do Norte, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/50481>. Acesso em: 8 jul. 2023.

SILVA, G. S. **Dosagem de concretos convencionais utilizando materiais comercializados no estado de Sergipe pelo método IPT/EPUSP.** 2020. 55 p. TCC (Graduação) - Curso Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Aracaju, 2020.

TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo. Dosagem dos concretos de cimento Portland. *In: Concreto: Ciência e Tecnologia* v. 2, n. 12. São Paulo: IBRACON 2011.

VII. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar nossa gratidão ao IDEAL GRUPO, em especial aos Senhores Pedro, João Paulo e Raphael, pela generosa disponibilização de espaços e pela doação de materiais essenciais para a realização dos experimentos conduzidos neste trabalho. Também agradecemos à equipe de laboratório, composta por Júlio, Erick e Gustavo, pela assistência técnica e suporte durante todas as etapas deste estudo.

VIII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

OTIMIZAÇÃO ENERGÉTICA NA CLIMATIZAÇÃO: INTEGRAÇÃO DE CONDICIONADORES DE AR E VENTILADORES DE TETO – UMA REVISÃO LITERÁRIA

ENERGY OPTIMIZATION IN CONDITIONING: INTEGRATION OF AIR CONDITIONERS AND CEILING FANS – A LITERATURE REVIEW

Jean Carlos Lourenço Costa¹

Talita Mariane Cristino²

Agnelo Marotta Cassula³

Antonio Faria Neto⁴

Francisco Antonio Lotufo⁵

Resumo – A combinação estratégica de condicionadores de ar e ventiladores de teto emerge como uma solução promissora para melhorar a eficiência energética na climatização de ambientes. Assim, devido ao interesse crescente por esse assunto, o objetivo deste artigo é explorar e sintetizar pesquisas relevantes sobre essa prática integrada, visando oferecer insights valiosos para pesquisadores e profissionais interessados em aprimorar estratégias energeticamente sustentáveis no campo.

Palavras-chave: *Eficiência Energética. Conservação de Energia. Ar-Condicionado. Ventilador de Teto.*

Abstract - *The combination of air conditioners and ceiling fans emerges as a promising solution for improving energy efficiency in air conditioning. Therefore, due to the growing interest in this subject, the aim of this article is to explore and synthesize relevant research on this integrated practice, aiming to offer valuable insights for researchers and professionals interested in improving energy-sustainable strategies in the field.*

Keywords: *Energy Efficiency. Energy Conservation. Air-Conditioning. Ceiling Fan.*

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharias, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciência, Câmpus de Guaratinguetá, Brasil. Contato: jean.lourenco@unesp.br.

² Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Mestre em Engenharia de Produção, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciência, Câmpus de Guaratinguetá, Brasil. Contato: talita.cristino@unesp.br.

³ Docente no Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciência, Câmpus de Guaratinguetá, Brasil. Contato: agnelo.cassula@unesp.br.

⁴ Pesquisador em Eficiência Energética, Docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharias, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciência, Câmpus de Guaratinguetá, Brasil. Contato: antonio.faria-neto@unesp.br.

⁵ Docente no Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia e Ciência, Câmpus de Guaratinguetá, Brasil. Contato: francisco.lotufo@unesp.br.

I. INTRODUÇÃO

A crescente dependência dos combustíveis fósseis para a geração de energia tem implicações significativas para o meio ambiente, especialmente em relação à emissão de CO₂, o principal gás causador do efeito estufa (Lobato *et al.*, 2021; Miller *et al.*, 2021; Cristino *et al.*, 2022). O alarmante consumo energético intensifica a produção de gases de efeito estufa (GEE), evidenciando a urgente necessidade de estratégias para mitigar esses impactos (Atthajariyakul; Lertsatittanakorn, 2008; Cristino *et al.*, 2017).

Nesse contexto, a busca por eficiência energética e conservação torna-se imperativa. A implementação de tecnologias e práticas energeticamente eficientes emerge como solução viável e estratégica para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos (Cristino *et al.*, 2022a).

É incontestável o papel significativo do setor de edificações nesse cenário, uma vez que é responsável por aproximadamente 36% do consumo final de energia e 40% das emissões totais de GEE (IEA, 2018; Cristino *et al.*, 2022b). Uma parcela considerável desse consumo é atribuída aos sistemas de climatização, que representam entre 40% e 50% do consumo elétrico total das edificações (Zhu; Ren; Cao, 2021), com os condicionadores de ar se destacando como principais consumidores.

É crucial reconhecer que o consumo energético dos condicionadores de ar é influenciado por diversos fatores ambientais e comportamentais (Arumugan; Maiya; Nagendra, 2020). Diante disso, estratégias racionais na utilização desses equipamentos podem resultar em significativas economias energéticas.

Recentes estudos, como o de Malik (2022), têm explorado a sinergia entre condicionadores de ar e ventiladores de teto como uma abordagem energeticamente eficiente para a climatização de ambientes. Essa integração possibilita ajustes termostáticos mais altos nos condicionadores, mantendo o conforto térmico dos espaços (Hoyt *et al.*, 2015).

Neste contexto, este artigo busca aprofundar-se na análise dessas práticas combinadas, revisando 18 artigos relevantes publicados entre 1996 e 2022 indexados na base de dados Scopus. O objetivo principal é analisar e sintetizar a literatura existente sobre a climatização de ambientes por meio da integração de condicionadores de ar e ventiladores de teto, visando identificar tendências, metodologias predominantes, contextos de aplicação e potenciais implicações para eficiência energética e conforto térmico.

Este manuscrito está organizado em quatro seções. A seção 2 detalha a abordagem metodológica empregada na pesquisa. A seção 3 apresenta os resultados da revisão de literatura. As conclusões são resumidas na Seção 4. Embora na figura 4 apareçam as três fases completas, neste projeto o programa operou com tabelas pré-programadas de 0° a 120°. Verificou-se, depois de muitas observações, na figura 1, que a partir de 120° as fases começam a repetir seus valores; de 120° a 240°, a fase a passa a ter o valor anterior da fase c, a fase b passa a ter o valor anterior da fase a e a fase c passa a ter o valor anterior da fase b; de 240° a 360°, a fase a passa a ter o valor inicial da fase b, a fase b passa a ter o valor inicial da fase c e a fase c passa a ter o valor inicial da fase a, com este raciocínio, na programação manipulou-se os valores das fases de modo a completá-las nos ângulos subsequentes a 120°, sem a necessidade de trabalhar com a tabela completa, i.e., com as 756 amostras. Neste trabalho utilizou-se 252 amostras, o que minimizou a tabela de Marcelino (1998) em dois terços. Além de permitir utilização de um microcontrolador menor, por não necessitar de memória externa, o custo por necessitar de menos memória reduz substancialmente.

II. METODOLOGIA

Para assegurar uma revisão sistemática e robusta da literatura, uma metodologia estruturada em três fases distintas foi adotada, garantindo rigor e abrangência na seleção e análise dos artigos.

1. Identificação e Seleção Preliminar: Inicialmente, uma estratégia de busca robusta foi elaborada, concebendo uma *query* criteriosa destinada a extrair um conjunto abrangente de publicações relevantes sobre a climatização de ambientes através da integração de condicionadores de ar e ventiladores de teto. A partir das buscas na base de dados Scopus, foram coletados 102 artigos pertinentes ao escopo da pesquisa. Estes artigos foram selecionados com base em termos-chave derivados de revisões bibliográficas preliminares, garantindo assim a relevância direta ao tema em estudo.

2. Triagem e Seleção Final: Após a coleta inicial, uma triagem rigorosa dos artigos foi feita. Inicialmente, os títulos dos 102 artigos foram avaliados para determinar sua pertinência ao tema central da pesquisa. Posteriormente, uma análise aprofundada dos resumos foi conduzida, descartando aqueles que não atendiam aos critérios de inclusão pré-estabelecidos. A etapa subsequente envolveu uma leitura minuciosa de uma subamostra desses artigos, permitindo uma avaliação detalhada de sua qualidade e relevância. Ao final deste processo, 18 artigos que se alinhavam aos objetivos e escopo da revisão de literatura foram selecionados.

3. Análise Detalhada e Síntese: Com os 18 artigos selecionados, procedeu-se com a leitura exaustiva e analítica. Esta fase permitiu identificar e analisar diversos aspectos cruciais, incluindo a evolução temporal das publicações, a distribuição geográfica dos estudos, a variedade de abordagens metodológicas empregadas, os diferentes métodos de pesquisa adotados, o perfil das edificações estudadas e as principais características experimentais de cada estudo. Esta análise minuciosa proporcionou *insights* valiosos sobre as tendências, lacunas e contribuições significativas no campo da integração energética em sistemas de climatização.

III. RESULTADOS

Esta seção oferece uma análise detalhada dos estudos selecionados, abrangendo o período de 1996 a 2022, que exploram a climatização de ambientes por meio da combinação de condicionadores de ar e ventiladores de teto. Os resultados são apresentados em subseções temáticas, destacando as características metodológicas, tendências e implicações práticas dos estudos revisados.

3.1 - Panorama dos estudos selecionados

A Tabela 1 oferece uma visão consolidada das principais características dos 18 estudos analisados, proporcionando uma síntese dos parâmetros metodológicos e resultados obtidos.

Tabela 1 – Principais características dos estudos selecionados.

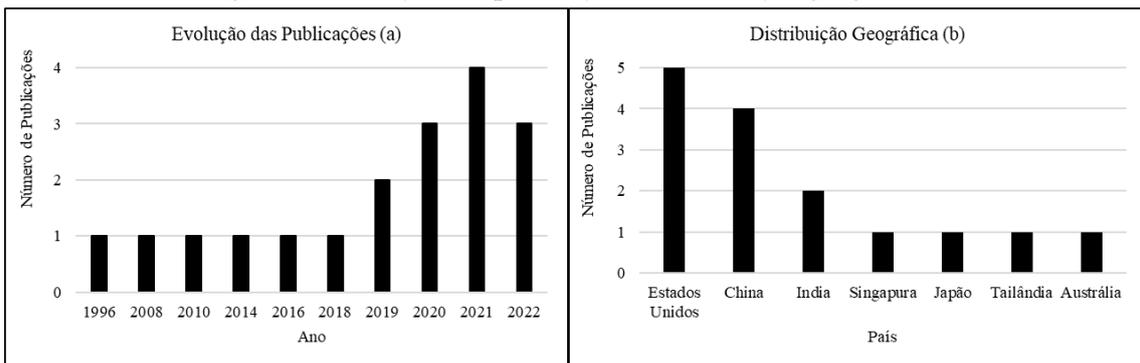
Autor	País	Abordag. Met.			Economia (%)	Tipos de Edifícios			Área (m ²)	Condicionador de ar (Btu/h)	Participantes	Taxa Metabólica (met)	Isolamento das roupas (clo)	Temperatura		Velocidade do ar (m/s)	U. R. (%)
		Simulação	Survey	Predição		Residencial	Universitário	Comercial						Inicial (°C)	Final (°C)		
James et al. (1996)	EUA	X			2,6 e 14,9	X			N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	25,6 e 26,1	26,7	N/A	60
Atthajariyakul, Lertsattanakorn (2008)	Tailândia		X		18,3		X		8,75	12.000	15	1	0,55-0,6	25	28	0,2-2	60-80
Momoi et al. (2010)	Japão		X		N/A		X		56	14.000	7	1	0,4	26	28	0,8	N/A
Hoyt, Arens e Zhang (2014)	EUA	X			29		X		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	22,2	26,7	0,18-0,28	N/A
Shetty et al. (2016)	Singapura			X	N/A			X	N/A	N/A	6	1,1	0,5	25	27	0,36-1,26	60
Lipczynska, Schiavon e Graham (2018)	Singapura		X		31,42			X	12 e 64	N/A	15	1,1-1,2	0,57	23	26	0,8	0,5
Tian et al. (2019)	China	X			14 - 33,6			X	927 e 69.846	N/A	N/A	N/A	N/A	20	28	1,2	N/A
Mihara et al. (2019)	Singapura		X		25		X		42,56	N/A	26	1	0,4	24	27	0,94-1,87	60
Chen et al. (2020)	EUA			X	N/A		X		30,25	N/A	1	N/A	N/A	26	28	0,6-1,2-1,8	N/A
Arumugan, Maiya e Nagendra (2020)	Índia		X		N/A		X	X	N/A	N/A	31	1,2	0,54	25,3	29,6	0,25	57 - 78
He et al. (2020)	China		X		N/A		X		15,3	N/A	20	1	0,5	25	28	1,0-1,3	60
Li e He (2021)	China	X			5,2		X		17.754	N/A	N/A	1,1	0,5	27	28,2	0,8	80
Miller et al. (2021)	EUA		X		21	X	X		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	21,2	25,9	0,5	55
Mihara et al. (2021)	Singapura		X		27,7		X		81 e 650	N/A	244	1,1	0,36	24	27	1,89	60
Luo et al. (2021)	EUA			X	N/A		X		30,25	N/A	24	1,1	0,65	23	28	1,6	50
Sun, Jia (2022)	China	X			N/A		X		24,32	N/A	N/A	N/A	0,37	16	30	2,5	N/A
Gokarakonda, Treec e Rawal (2022)	Índia			X	N/A	X			10,5	N/A	5	0,96	0,7	24,6	27	0,4	67
Malik (2022)	Austrália		X		76			X	N/A	N/A	N/A	N/A	0,5	N/A	N/A	0,8-1,2	N/A

Fonte: elaborado pelos autores.

3.2 - Tendências temporais e geográficas

A Figura 1 apresenta a trajetória temporal e distribuição geográfica das publicações. Observa-se um aumento significativo no interesse acadêmico nesta área, particularmente na última década, impulsionado pelo crescimento do consumo energético em edifícios, conforme dados da IEA (2018). A predominância de pesquisas na Ásia sugere uma resposta direta às demandas crescentes de climatização na região.

Figura 1 - Evolução das publicações e distribuição geográfica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Segundo a EPE (2018) estima-se que o número de aparelhos de condicionadores de ar na China e nos Estados Unidos é de 1 a 2 aparelhos por domicílio respectivamente. Já no Japão, esse número pode chegar a três.

Esse número não é muito diferente nos demais países asiáticos. Segundo a IEA (2018) a refrigeração é responsável por 30% do consumo total de energia no setor de edificações asiáticas.

Embora, alguns países da Europa apresentem temperaturas bastante elevadas, por muitos dias, durante o verão, como é o caso de Chipre, Malta e Grécia, menos de

10% dos lares Europeus possuem um condicionador de ar. Contudo, essa situação está prestes a se modificar por conta da intensificação dos verões europeus, causada pelos desequilíbrios climáticos, o que deverá incentivar pesquisas nesta área.

Devido aos baixos padrões de renda das populações da África, a penetração deste tipo de aparelho neste continente ainda é pequena, não fazendo de sua participação no consumo energético um tema atraente para pesquisa.

Nas Américas central e do sul também não se vê pesquisas nesta área, devido, até então, à baixa participação de condicionadores de ar no mercado.

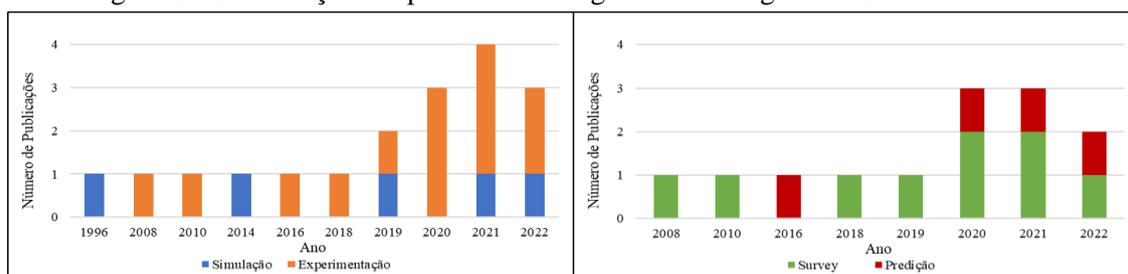
3.3 - Abordagem metodológicas e técnicas

A Figura 2 ilustra a evolução das abordagens metodológicas e técnicas adotadas pelos estudos ao longo do tempo.

As 18 publicações se dividiram em duas abordagens metodológicas, simulação e experimentação. As pesquisas iniciais nesta área lançaram mão de simulações para alcançar os seus resultados. Os softwares de simulação utilizados foram: DOE-2; FSEC 3.0: *Software for Environment Computation. V3.0, EnergyPlus e DesignBuilder*.

Observou-se uma bifurcação entre simulação e experimentação, com uma inclinação para a abordagem *survey* para avaliação do conforto térmico, possivelmente devido à sua viabilidade prática e robustez metodológica.

Figura 2 - Distribuição temporal da abordagem metodológica utilizada nos estudos.

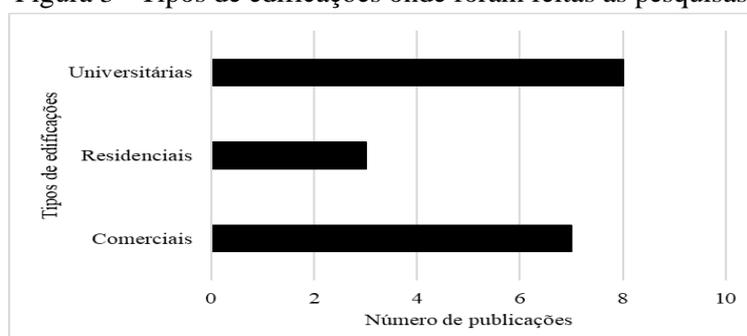


Fonte: Elaborado pelos autores.

3.4 - Contexto edificado e experimentação

A Figura 3 detalha os contextos edificados investigados nos estudos, com uma ênfase particular em edificações residenciais, comerciais e universitárias. A escolha desses contextos pode estar associada à facilidade de controle experimental e potencial para amostragens robustas.

Figura 3 - Tipos de edificações onde foram feitas as pesquisas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.5 - Características experimentais e implicações práticas

A Figura 4 apresenta *insights* sobre as variáveis experimentais, como dimensões dos ambientes, número de participantes e condições térmicas.

Infelizmente nem todos os artigos informaram ou foram precisos, ao informar a área das instalações onde os experimentos ou estudos foram conduzidos, sobretudo aqueles que adotaram a simulação como abordagem metodológica (James *et al.*, 1996; Hoyt; Arens; Zhang, 2015; Tian *et al.*, 2019; LI; HE, 2021). As dimensões reportadas nos demais estudos se distribuem conforme a Figura 4(a).

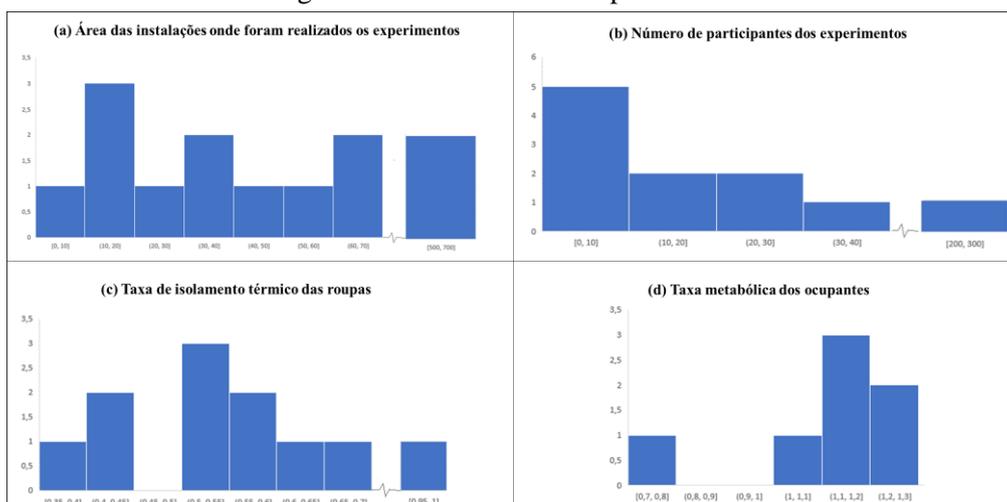
O menor ambiente considerado para experimentação tinha 8,75m² enquanto o maior, 927m². Não há evidências de que a abordagem metodológica esteja relacionada com as dimensões do ambiente.

O número de participantes envolvidos nos experimentos varia de 1 a 244, distribuídos conforme a Figura 4(b). Pode-se afirmar que, na maioria dos experimentos, não houve a preocupação em equilibrar o número de homens e mulheres. Não há relação entre a abordagem metodológica e número de participantes.

A taxa de isolamento térmico das roupas utilizadas pelos participantes dos experimentos varia de 0,36 a 0,96 (*clo*), distribuídos de acordo com a Figura 4(c).

A taxa metabólica dos ocupantes variou de 0,70 a 1,2 (*met*), conforme ilustrado na Figura 4(d).

Figura 4 – Características experimentais.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Comparando-se uma situação em que um ambiente é climatizado exclusivamente por um condicionador de ar, as pesquisas mostraram que, de fato, a circulação de ar no ambiente, em torno de 0,8 m/s, promovida por ventiladores, permite a manutenção do conforto térmico dos ocupantes, mesmo que o termostato do condicionador seja elevado em torno de 3 °C, desde que a temperatura não ultrapasse 27 °C. A umidade relativa do ar, bem como a área do ambiente sob estudo, parece ter pouco impacto nesses resultados.

Foram adotadas três abordagens metodológicas para a realização desses estudos, a saber, simulação, predição do conforto térmico, baseada na medição de variáveis ambientais; e *survey* dos ocupantes sobre o conforto térmico. Essa última abordagem foi a mais utilizada. O tamanho da amostra variou entre 1 e 244, todos apresentando uma taxa metabólica em torno de 1,0 (*met*) e trajando roupas com isolamento térmico em torno de 0,55 (*clo*).

Os estudos mostraram que o uso combinado de condicionador de ar e ventiladores promove a economia da energia empregada na climatização dos ambientes. Entre os poucos estudos que mencionaram o percentual de economia alcançado por esta modalidade de climatização, aqueles que usaram a abordagem *survey* relataram uma economia média de 25%. A grande variabilidade desse valor se explica pelo fato do consumo de um condicionador de ar está associado a diversas variáveis, tais como, tipo, potência e eficiência do condicionador de ar, assim como às dimensões, à carga térmica e a temperatura externa das instalações consideradas.

IV. CONCLUSÃO

Esta revisão metódica de 18 estudos primordiais sobre a climatização de ambientes por meio da integração de condicionadores de ar e ventiladores de teto revelou *insights* significativos e apontou para direções emergentes na pesquisa científica. Notavelmente, a análise demonstrou um crescimento contínuo no interesse acadêmico nessa área, com uma tendência particularmente marcante na Ásia, evidenciando a relevância global do tema.

A predominância da experimentação como abordagem metodológica, complementada por técnicas de *survey* e predição, sublinha a robustez e diversidade das estratégias empregadas para avaliar a eficácia e eficiência da combinação desses sistemas de climatização. Além disso, a concentração dessas investigações em edificações residenciais, comerciais e universitárias ressalta a aplicabilidade prática e a relevância contextual dos estudos realizados até o momento.

É imperativo destacar que os parâmetros experimentais e contextuais identificados oferecem um substrato valioso para pesquisas subsequentes, sinalizando áreas potenciais para inovação, otimização e aplicação prática. No entanto, é evidente a necessidade premente de expandir essa linha de pesquisa para incluir uma diversidade mais ampla de contextos geográficos e edificados. Isso não apenas ampliará o alcance e a aplicabilidade das descobertas, mas também contribuirá para uma compreensão mais holística e integrada das nuances associadas à eficiência energética e ao conforto térmico.

V. REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA (IEA). **Global Energy & CO₂ Status. Report 2018**. Disponível em: <https://www.iea.org/geco/emissions/>. Acesso em: 02 nov. 2019.
- ARUMUGAM, J.; MAIYA, M.P.P.; NAGENDRA, S.M.S. Thermal comfort assessment of tropically acclimatized occupants in an air-conditioned microenvironment, **Journal of The Institution of Engineers (India): Series A**, v. 101, n. 4, p. 795-807, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40030-020-00463-3>.
- ATTHAJARIYAKUL S.; LERTSATITTANAKORN C. Small fan assisted air conditioner for thermal comfort and energy saving in Thailand. **Energy Conversion and Management**, v. 49, p. 2499-2504, 2008. *Energy Conversion and Management*
- CHEN, W. *et al.* Ceiling-fan-integrated air conditioning: airflow and temperature characteristics of a sidewall-supply jet interacting with a ceiling fan. *Building and Environment*, v. 171, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.05.028>.
- CRISTINO, T. M. *et al.* Eficiência energética em edifícios: Análise bibliométrica e identificação dos métodos estatísticos aplicados. **Revista Sodebras [on line]**, v. 12, p. 155-159, 2017.

CRISTINO, T.M. *et al.* The evolution of knowledge and trends within the building energy efficiency field of knowledge. **Energies**, v. 15, n. 3, 691, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15030691>.

CRISTINO, T. M. *et al.* Barreiras à adoção de painéis fotovoltaicos integrados as edificações: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Sodebras [on line]**. v. 17, p. 113-127, 2022. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.17.2022.193.113>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **EPE 030/2018**: Uso de ar-condicionado no setor residencial brasileiro: perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-341/NT%20EPE%20030_2018_18Dez2018.pdf. Acesso em: 02 nov. 2019.

GOKARAKONDA, S.; TREECK, C.; RAWAL, R. Investigating optimum cooling set point temperature and air velocity for thermal comfort and energy conservation in mixed-mode buildings in India. **Energies**, v. 15, n. 6, 2259, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15062259>.

HE, Y. *et al.* Air-conditioning use behaviors when elevated air movement is available. **Energy and Buildings**, v. 225, 110370, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110370>.

HOYT, T.; ARENS, E.; ZHANG, H. Extending air temperature setpoints: simulated energy savings and design considerations for new and retrofit buildings. **Building and Environment**, v. 88, p. 89-96, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.010>.

JAMES, P. W. *et al.* Are savings due to ceiling fans just hot air. **Florida Solar Energy Center (FSEC)**, 1996.

LI, Y.; HE, J. Evaluating the improvement effect of low-energy strategies on the summer indoor thermal environment and cooling energy consumption in a library building: A case study in a hot-humid and less-windy city of China. **Building Simulation**, v. 14, p. 1423-1437, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12273-020-0747-6>.

LIPCZYNSKA, A.; SCHIAVON, S.; GRAHAM, L.T. Thermal comfort and self-reported productivity in an office with ceiling fans. **Building and Environment**, v. 135, p. 202-212, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.013>.

LOBATO, C.G. *et al.* Lean System: Analysis of scientific literature and identification of barriers for implementation from a bibliometric study. **Gestão e Produção**, 28(1),e4769, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9649.2020v28e4769>.

LUO, M. *et al.* Ceiling-fan-integrated air-conditioning: thermal comfort evaluations. **Buildings & Cities**, v. 2, p. 928-951, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5334/bc.137>.

MALIK, A. The potential for indoor fans to change air conditioning use while maintaining human thermal comfort during hot weather: an analysis of energy demand and associated greenhouse gas emissions. **Lancet Planet Health**, v. 6, n. 4, p. 301-309, 2022. DOI: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00042-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00042-0).

MIHARA, K. *et al.* Thermal comfort and energy performance of a dedicated outdoor air system with ceiling fans in hot and humid climate. **Energy and Buildings**, v. 203, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109448>.

MIHARA, K. *et al.* Thermal and perceived air quality responses between a dedicated outdoor air system with ceiling fans and conventional air-conditioning system. **Building and Environment**, v. 190, 107574, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107574>.

MILLER, D. *et al.* Cooling energy savings and occupant feedback in a two year retrofit evaluation of 99 automated ceiling fans staged with air conditioning. **Energy and Buildings**, v. 251, 111319, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111319>.

MOMOI, Y. *et al.* **Control of air velocity and temperature distribution in classroom using ceiling fan**. Osaka, Japan, 2010.

SHETTY, S. *et al.* Personal thermal comfort management in existing office buildings using energy-efficient fans. **ECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society**, Florence, Italy, p. 7083-7088, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/IECON.2016.7793711>.

SUN, D.; JIA, C. Study on joint management of indoor natural ventilation environment by coupling ceiling fan with air conditioner. **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, v. 21, p. 1093-1105, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/13467581.2021.1900854>.

TIAN, Z. *et al.* Multi-objective optimization model predictive dispatch precooling and ceiling fans in office buildings under different summer weather conditions. **Building Thermal, Lighting, and Acoustics Modeling**, v. 12, p. 999–1012, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12273-019-0543-3>.

VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES - Código Financeiro 001), e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP - processo 2021 / 01423-9) pelo apoio a esta pesquisa.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

ANALYSIS OF CLAMPING FORCE IN INJECTION MOLD COMPONENTS THROUGH FINITE ELEMENTS

ANÁLISE DA FORÇA DE FECHAMENTO EM COMPONENTES DE MOLDES DE INJEÇÃO ATRAVÉS DE ELEMENTOS FINITOS

Wellington de Sousa Meira¹

Jayan Ismar Lira Almeida²

Ingrid Isabele Hipólito Araújo³

Abstract - *In the thermoplastics sector, the injection molds used in the parts forming process are directly related to the quality of the final products, as part of the steps involved in the processing takes place within the component. Due to its importance in the injection process, this work aims to study the effects (tensions and deflections) caused by the clamping force required during the polymer molding cycle, so in the study carried out, the Finite Element Method was used. In the intense dynamics of opening and closing the mold, the excess in the clamping force in the product forming processes can lead to problems such as premature wear of the mold, deformations in the cavities, breakage of components of the extractor system, variations in the thickness of the walls of the product over time, in addition to causing deflection of components and deformation of fixed and mobile plates.*

Keywords: *Injection Molds. Clamping Force. Finite Element Method.*

Resumo – *No setor de termoplásticos os moldes de injeção utilizados no processo de conformação de peças estão diretamente relacionados à qualidade dos produtos finais, visto que, parte das etapas envolvidas no processamento, acontece dentro do componente. Devido à sua importância no processo de injeção, esse trabalho tem como objetivo estudar os efeitos (tensões e deflexões) causados pela força de fechamento necessária durante o ciclo de moldagem do polímero, para tanto, no estudo realizado, o Método dos Elementos Finitos foi utilizado. Na intensa dinâmica de abertura e fechamento do molde, o excesso na força de fechamento nos processos de conformação dos produtos, pode levar à problemas como desgaste prematuro do molde, deformações nas cavidades, quebra de componentes do sistema extrator, variações nas espessuras das paredes do produto com o tempo, além de causar deflexões em componentes e deformações das placas fixa e móvel.*

Palavras-chave: *Moldes de Injeção. Força de Fechamento. Método dos Elementos Finitos.*

¹ Engenheiro Mecânico (UFBA). Contato: wellingtonsomeira@gmail.com.

² Doutor em Engenharia Mecânica (PPGEM - UFPB). Docente em engenharia mecânica (UFBA). Contato: jayann.ismar@gmail.com.

³ Graduada em Engenharia Mecânica (UFBA) Contato: ingrid.hipolito@ufba.br.

I. INTRODUCTION

Injection molding is considered one of the most versatile and modern processes in the plastics transformation sector. Plastic materials are composed of natural or synthetic resins that, through pressure and heat, can flow and acquire a certain shape (Harada, 2004). According to Manrich (2013), thermoplastics are polymers that can be melted and solidified repeatedly, with little or no variation in their basic properties. This possibility of molding a certain material maintaining its basic properties according to the needs of society, makes plastic an essential and versatile material used in industry. In this way, the transformation technique has been growing in an advanced way with the implementation of new technologies that reduce production time and optimize processes.

One of the components used in the thermoplastics industry is the injection mold. Injection molds are tools used to manufacture plastic parts by the polymer injection process, the first molds were created together with injection molding machines, in the 19th century, when the Hyatt brothers, in the United States, patented the first injection (Almeida and Sousa, 2015).

Considering the significant importance of the molds in the process and consequently in the quality of injection molding, a study was carried out regarding the influence of one of the mechanical forces (clamping force) acting on the component during the injection cycles. The optimization of this cycle is essential to ensure the economic competitiveness of the process, given the high investment in capital required for the installation of this type of equipment (injector, mold, and auxiliary equipment) (Garcia, 2009). Since the quality of the injected products is directly related to the proper use of the molds, it is extremely important to use process parameters that minimize the efforts on the molds and components of the injection molding machine. Mechanical efforts above the theoretical recommended values can cause variations in the dimensional properties of the mold, therefore, they can cause variations in the dimensions of the injected parts.

The present work was motivated by the use of different values of clamping force in the injection process. Different levels of stress and deflection can be caused by applying different values of this force. Thus, with the application of the clamping force recommended by the literature, contributions such as lower efforts in the mold components, lower tensions, and deformations would be possible.

In order to observe the influence of this effort on some components of the mold, a numerical model of these components was developed for the analysis of stresses and deflections when subjected to different values applied in the injection process. To achieve the objective, the Finite Element Method was used.

The Finite Element Method is an approximate method of calculating continuous systems, so that: The structure, the mechanical component or, in general, the continuous body is subdivided into a finite number of parts (elements), connected to each other by the discrete points, which are called nodes. The assembly of elements, which constitutes the mathematical model, has its behavior specified by a finite number of parameters. In particular, in structural analysis problems, the parameters are the nodal displacements, which are the unknowns of the problem (Alves Filho, 2013). In this work, the tensions and deflections caused by the clamping force according to the literature and those caused by mechanical stress higher than the theoretical recommended were compared.

II. METHODOLOGY

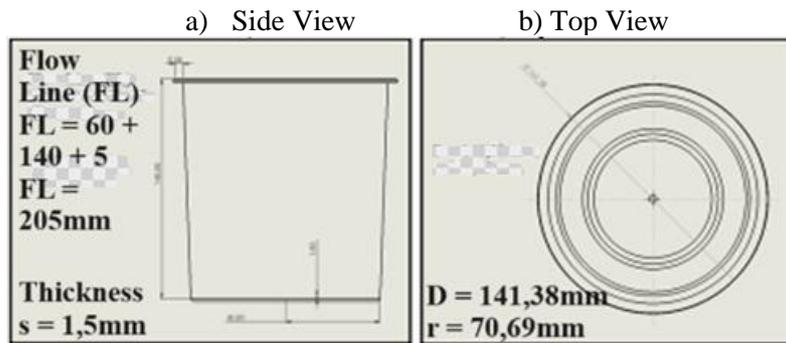
For the development of the work, the first step was the choice of a part injected, followed by the use of a catalog of mold manufacturers for the dimensioning of the

components, and then the finite element method was used. carrying out analysis of stresses and deflections of these components.

2.1 - Part to be injected and clamping force

For the calculation of the clamping force, information such as pressure on the cavity, the material flow line, projected area, part thickness, and material used in the processing must be known. Fig. 1 represents the piece chosen for the study.

Figure 1 - Part to be injected.

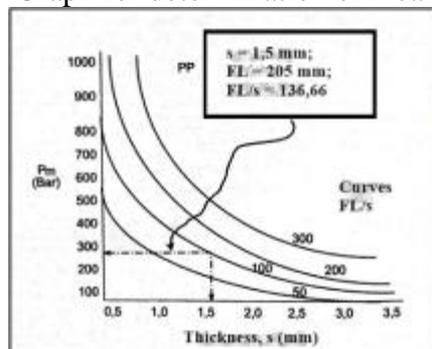


Source: (Authors, 2021).

The first step for the calculation of the clamping force necessary in the processing was the determination of the value of the average pressure in the cavity of the injection mold. Therefore, knowledge of the part material, flow line, and thickness were requirements for the calculation. As shown in Fig.1, where we have the side view and the top view, we have the material flow line, that is, the path taken from the nozzle of the injection molding machine to the last point in the mold cavity. In this way, we have the following information for the chosen part: Material: Polypropylene (PP); Flow Line (FL): 205 mm; Thickness of the part(s): 1,5 mm; $FL/s = 136,66$ mm/mm. The curve adopted to determine the average pressure was the closest to the ratio between the flow line (FL) and the thickness (s) of the material, since the value of the ratio does not always correspond exactly to the curve on the graph.

With the above information, we can define the average pressure in the injection mold cavity. The curve adopted to determine the mean pressure was the closest to the ratio between the flow line (FL) and material thickness (s). Fig. 2 indicates the value of the average pressure used (280 bar).

Figure 2 - Graph for determination of mean pressure.



Source: Adapted from (Manrich, 2013).

According to Fig. 1, the area can be calculated using Eq. (1):

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (1)$$

$$A = \pi \cdot (0,07)^2 = 0,0154 \text{ m}^2$$

Therefore, for the calculation of the clamping force, we will have:

- Average pressure in the cavity (P_m) = $280 \cdot 10^5$ Pa (280 bar);
- Number of cavities = 1;
- Material constant (PP) used in processing (K_m) = 1;
- Projected part area (A) = $1,54 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

The injection force acts on the projected area of the molded part and if the clamping force applied to the mold (in the opposite direction to the injection) is not enough, the plastic material will “open” the mold and burrs will occur on the part, in addition to being able to damage other parts of the mold, with an accumulation of material in its moving parts or denting of the surface of its cavity (Almeida and Sousa, 2015). In order to define the clamping force, it's important to know: Average pressure in the cavity (P_m), Material constant (PP) used in processing (K_m) and the Projected part area (A). Below, Eq. (2) is used to determine the clamping force:

$$F_f = P_m \cdot K_m \cdot A \quad (2)$$

Applying Eq. (2), previously presented, the required clamping force value during processing can be determined. Substituting the values, we get:

$$F_f = (280 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2) \cdot 1 \cdot (1,54 \cdot 10^{-2})$$

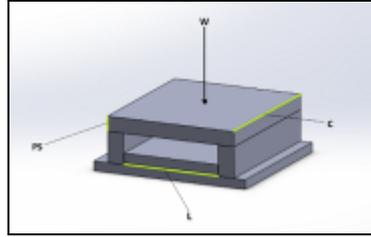
$$F_f = 431,2 \text{ kN}$$

The clamping force calculated above is the minimum force required to prevent the mold from opening during processing. The same reasoning must be applied to the injection mold, that is, the injection mold used must withstand the 431,2 kN required during processing.

2.1.1 - Components analyzed and their dimensions

To determine the dimensions of the support plate and spacers (components used in the study) the catalog of a mold holder manufacturer was adopted. In general, in mold construction, the shims form a “U” for the parts ejection system. The injection pressure can cause deflection in the support plates of the cavities supported by the shims. In addition, this deflection will cause burrs on the products. To avoid this problem, some supports are placed in strategic places that do not interfere with the extraction and return pins (Harada, 2004). The Fig. 3 exemplifies the support plate and spacers for the extraction system of injected products.

Figure 3 - Plate Support and Spacers Set.



Source: (Authors, 2021).

According to the manufacturer's catalog, the dimensions of the spacers (shims) and the support plate as well as the distance between the spacers were defined. According to Fig. 3 above, we have: Distance between spacers (L): 372 mm; Support plate thickness (PS): 56 mm; Mold height (C): 546 mm; Load applied to support plate (W).

The load (W) is considered as the injection pressure applied to the injection mold plates. Thus, the opposing force that must resist the injection pressure preventing the mold from opening during processing is the closing force. Also according to HARADA (2004), the equation adopted to determine the spacers and their distances is that of a bi-supported beam. In this way, the Eq. (3) represents the stress at the center of the support plate due to injection pressure, where it's important to know: W= maximum load supported by the shim; S= Admissible stress of the steel; Z= module of the section that resists bending.

$$S = (W.L)/(8/Z) \quad (3)$$

According to engineering manuals, we have Eq. (4):

$$Z = (C.PS^2)/(6) \quad (4)$$

Applying Eq. (4) with the values determined through the manufacturer's catalog, we have:

$$Z = (0,546.0,056^2)/(6) = 2,8537.10^{-4} m^3$$

According to HARADA (2004) the allowable stress of steel safely adopted, according to the manufacturer, is 82,37 MPa. The value for the allowable stress suggested by the manufacturer is for steels rated between 1020 and 1040, materials recommended for the manufacture of spacers and support plates. According to ANSYS, the material chosen was 1020 steel, presenting the following minimum properties for the static analysis: Modulus of elasticity: $2.0.10^5$ MPa; Yield limit: 350 MPa; Poisson's coefficient: 0.29. Therefore, applying Eq. (3), where: $S = 82,37.10^6$; $L = 0,372$ and $Z = 2,8537.10^{-4}$, we have:

$$S = (W.L)/(8/Z)$$

$$82,37.10^6 = (W.0,372)/(8/2,8537.10^{-4}) = 505,5 \text{ kN}$$

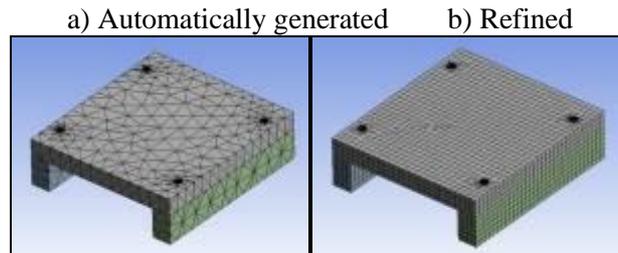
$$W = 505,5 \text{ kN}$$

As the value of the clamping force (431,2 kN) calculated by Eq. (2), required to inject the part under study is less than the maximum load value (505,5 kN), means that the injection molding process can be carried out in the selected mold safely.

2.1.2 - Numerical Model and Application of Boundary Conditions

Analyses using the Finite Element Method were performed using the ANSYS Workbench software. To create the mesh, the geometric model (support plate assembly and spacers) was imported from SOLIDWORKS to ANSYS. The Fig. 4, represents the generated meshes.

Figure 4 - Meshes.



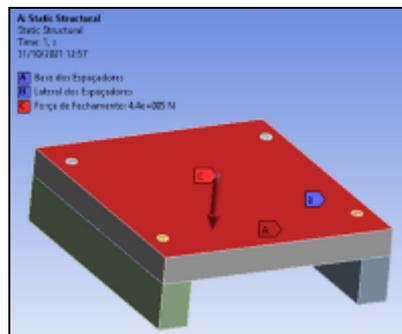
Source: (Authors, 2021).

As highlighted above, two meshes were created: one was automatically generated by the software, represented by the letter a), that is, no changes were made to the parameters of the mesh. On the other hand, Fig. 4 represented by the letter b), demonstrates a refined mesh, where the size of the element used was 18 mm. The comparison between the different generated meshes was performed using the Skewness tool of the ANSYS Workbench. Through Skewness, an observation was made regarding the shape of the created mesh elements. Differently from the automatically generated mesh, in the refinement, the mesh quality is superior due to the lower degree of distortion of the elements that compose the mesh.

Through refinement, it is possible to visualize elements with a greater degree of standardization in terms of shape and size in relation to the automatically generated mesh. Therefore, the refined mesh was chosen for the validation of the numerical model as well as for the subsequent analyses.

The definition of boundary conditions (BC), which realistically represent the constraints on a component, is not a trivial task and can make the difference between a reasonable or an incorrect solution to the problem (Norton, 2013). Thus, for the application of the boundary conditions, it is important to emphasize that the bases of the spacers were considered fixed due to the presence of the lower base plate that makes the fixation with the injection machine. Furthermore, in the dynamics of opening and closing the mold, there is no lateral movement of the spacers. The Fig. 5, represents the applied boundary conditions as well as the clamping force in the developed numerical model.

Figure 5 - Boundary conditions,



Source: (Authors, 2021).

III. VALIDATION

For the validation of the numerical model, the tension caused by the clamping force on the spacers was analytically calculated and subsequently, the result was compared with the value of the Von Mises stress indicated by ANSYS. As already exposed, according to HARADA (2004), the equation adopted to determine the spacers and their distances is that of a bi-supported beam. In this way, Eq. (3) shown earlier, represents the stress at the center due to injection pressure:

$$S = (W.L)/(8.Z)$$

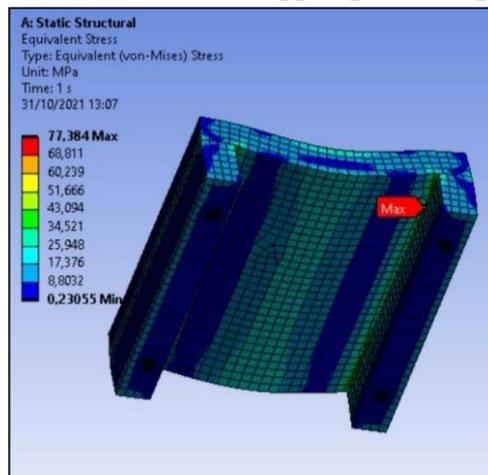
Thus, for a clamping force of $431,2 \cdot 10^3$ N applied to the support plate with the dimensions determined through the injection mold manufactures catalog, where $W=431,2 \cdot 10^3$ N, $L=0,372$ m and $Z=2,8537 \cdot 10^{-4}$ m³. Applying Eq. (3), we will have:

$$S = (431,2 \cdot 10^3 \text{ N} \cdot 0,372 \text{ m}) / (8 / 2,8537 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3)$$

$$S = 70,26 \text{ MPa}$$

The value was calculated analytically through Eq. (3), the next step was the numerical calculation. Applying the value of 431,2 kN in the ANSYS software, the stress value of 77,38 MPa is represented in Fig. 6. It is worth mentioning that the criterion used in the analysis is that of Von Mises, that is, a suitable criterion for static analysis, in addition to being the criterion based on the distortions caused by the deformation energy in ductile materials (1020 Steel).

Figure 6 - Stresses on the support plate and spacers.



Source: (Authors, 2021).

As highlighted in Fig.6, the support plate undergoes a deflection under the distributed loading caused by the clamping force, evidencing the behavior of a bi-supported beam mentioned in the literature. The value for the tension with the application of the clamping force, through Eq. (5) was 70,26 MPa. Using ANSYS, the maximum stress found was 77,38 MPa. Therefore, the analysis performed presents an error of 10,13%, which can be explained by simplifications of the numerical model, considerations regarding boundary conditions, dimensioning of mold components, and material used in the analyses.

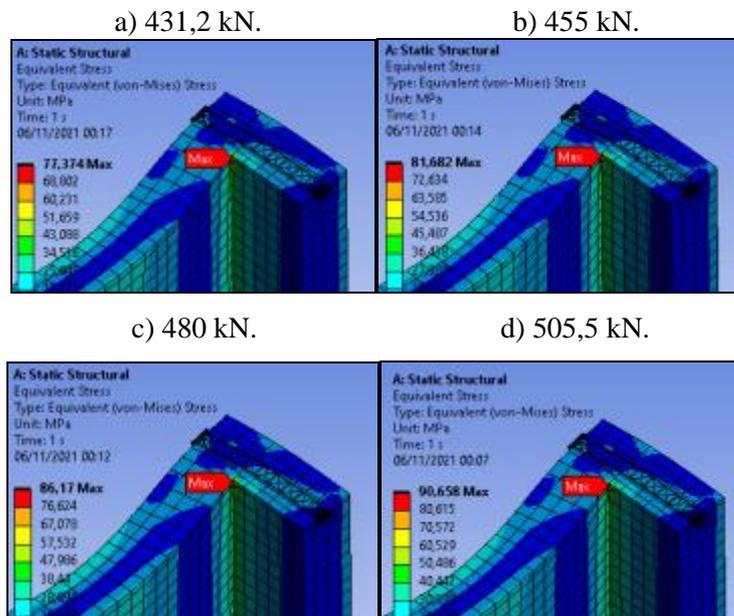
IV. RESULTS

With the objective of demonstrating the influence of the clamping force in the components of the injection mold, and consequently in the quality of the products, the values of tension and deflection were analyzed.

4.1 - Stress analysis caused by the clamping force

Different values of clamping force can be applied in the same process in order to alleviate some problems (bubbles in the product and burrs) recurring in the thermoplastic injection sector. Given this fact, different values were applied: 431,2 kN (clamping force calculated for processing); 505,5 kN (the maximum force that the spacers support); 455 kN, and 480 kN (intermediate values). Fig.7, represents the stresses in the structure when subjected to 431,2 kN, 455 kN, 480 kN and 505,5 kN, letters a), b), c) and d) respectively, of clamping force.

Figure 7 - Maximum tension regions under the action of the clamping force.



Source: (Authors, 2021).

As already discussed, the value for the tension applying 431,2 kN of clamping force, calculated analytically, was 70,26 MPa. The numerical value for the calculated force was 77,38 MPa as represented in Fig.7 a) above, representing an error of 10,13%. Using the same Eq. (3), presented earlier, for 455 kN applied to the injection mold support plate, the value for the maximum tension is 74,14 MPa, presenting an error of 10,17% referring to the numerically obtained value of 81,68 MPa. Tab.1 below shows the values of applied mechanical stress, analytical and numerical values, and their respective errors.

It is noted that, with the analyses performed above, as verified in the stress analyses, the maximum deflections are repeated in the structure. Through Fig. 8, it is possible to observe that there is an increase in deflections in the extreme regions of the injection mold support plate.

The application of efforts above those recommended by the literature can cause high levels of deflection, where the extraction system can be harmed since the support plate is directly related to the advance and return of the extractor pins.

V. CONCLUSION

With the development of the numerical model for the injection mold, the levels of deformations caused by mechanical stress in the dynamics of the processing can be known. It is possible, for example, to access the deflections in the support plate that directly affect the occurrence of burrs and dimensional differences in the produced parts. The use of the minimum clamping force, according to the literature, would save rework time on parts that have excess material; thus, production could be optimized. In addition to reworks, the occurrence of complaints and even product rejection would decrease.

Numerical modeling also contributes to the knowledge of stress levels in components. It was observed in the results a standardization of the regions of maximum tensions. Therefore, the developed modeling makes it possible to analyze these excessive tensions, contributing to an assertive decision making of the parameters recommended by the literature.

Therefore, the objective of the work developed was achieved. The influence of different values of clamping force on the mold components and consequently on the quality of the final injected product was observed. It is also worth mentioning the validation of the numerical model. The model created proved to be efficient, presenting an expected behavior, according to the literature consulted, and values for stress with a error (approximately 10%). The maximum stresses in the spacers and the deflection behavior of the support plate emphasize a numerical model validated according to the theory found in the literature.

VI. REFERENCES

- ALMEIDA, G. S.; SOUSA, W. B. **Molds and Matrices**: characteristics, development and functionalities for plastics transformation. 1. Ed. São Paulo: Érica, 2015.
- ALVES FILHO, A. **Finite Elements**: The Basis of CAE Technology. 5. ed. São Paulo: Érica LTDA, 2013.
- GARCIA, M.C.R., **Fundamentals of tool design**: Injection molds for thermoplastics, 2009. Available at <
<http://static.sapucaia.ifsul.edu.br/professores/vmartins/Arquivo/Projeto%20de%20Ferramentas%20II/Apostila%202009.pdf> > Accessed on August 3, 2021.
- HARADA, J., **Thermoplastic Injection Molds**: projects and basic principles. São Paulo: Arliber Editora, 2004.
- HUTTON, DAVID V., **Fundamentals of Finite Element Analysis**, 1st ed. 2004. Available at <
<http://117.247.251.79:8080/jspui/bitstream/1/161/1/Fundamentals%20of%20Finite%20Element%20Analysis%20-%20David%20V.%20Hutton.pdf> > Accessed on August 21, 2021.

MANRICH, S. **Thermoplastics Processing: Single Screw, Extrusion and Dies, Injection and Molds.** 2nd ed. São Paulo: Arliber Editora, 2013.

MOLD COMPONENTS CATALOG. **Polymold.** Available at <
https://secureservercdn.net/198.71.233.86/ejk.459.myftpupload.com/wp-content/uploads/downloads/porta_molde/2placas/catalogo_2placas_web_full.pdf >
Accessed on September 28, 2021.

NORTON, R. L., **Machine Design: An Integrated Approach,** 4th Edition, Ed. Bookman, 2013.

VII. COPYRIGHT

The authors are solely responsible for the material included in the article.

COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FILAMENTOS PLA HT NATURAL UTILIZADOS EM IMPRESSÃO FDM

ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF NATURAL PLA HT FILAMENT SAMPLES MANUFACTURED BY FDM PRINTING

Lucimar Venancio Amaral¹
Nicolly Amanda Silva Ávila²
Augusto César Teixeira Malaquias³
André Guimarães Ferreira⁴

Resumo – Este foi um estudo sobre a variabilidade entre filamentos de PLA HT natural analisando os parâmetros de tensão máxima, tensão de escoamento e módulo de elasticidade de diferentes marcas nacionais. Foram identificadas discrepâncias significativas nos resultados de um teste de tração, sugerindo-se a adoção de normas técnicas na fabricação desse tipo de filamento para que auxilie o consumidor final na escolha do produto que atenda melhor a sua necessidade.

Palavras-chave: Impressão 3D. Filamentos em PLA. Testes de Tensão.

Abstract - This was a study on the variability between natural PLA HT filaments analyzing the parameters of maximum tension, yield stress and elastic modulus of different national brands. Significant discrepancies were identified in the results of a tensile test, suggesting the adoption of technical standards in the manufacture of this type of filament to help the end consumer in choosing the product that best meets their needs.

Keywords: 3D Printing. PLA Filaments. Tension Testing.

I. INTRODUÇÃO

A impressão 3D surgiu em 1986 e é hoje uma das tecnologias com mais potencial de mercado mundial. Foi desenvolvida na Califórnia (EUA) por Charles W. Hull um engenheiro físico norte americano, que utilizou a estereolitografia, que é a precursora da

¹ Doutoranda em Engenharia Mecânica (UFMG); Docente do Instituto Federal de Minas Gerais e Centro Universitário de Belo Horizonte - MG. Contato: lucimarvenancioamaral@gmail.com

² Bacharel em Engenharia Mecânica (UniBH). Contato: nicollyavila1616@gmail.com.

³ Doutor em Engenharia Mecânica (UFMG); Docente da Universidade Federal de Minas Gerais – MG. Contato: augustocesartm@gmail.com.

⁴ Doutor em Engenharia Mecânica; Docente Titular do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Contato: agferreira@cefetmg.br.

impressão 3D, como base para sua nova invenção da qual depositou a patente “*Apparatus for Production of Three- Dimensional Objects by Stereolithography*” (sendo assegurada em 1986) quando estava trabalhando na UVP Inc.

A utilização da impressão 3D vem crescendo gradativamente dentro dos mercados de produção, pois sua versatilidade e agilidade permitem que soluções mais eficientes sejam possibilitadas e aplicadas para as mais diversas necessidades, seja na indústria, medicina, arte, educação, moda ou mesmo em projetos aeroespaciais. Conforme estudo de consultoria, até 2025 o mercado global das impressoras 3D deve atingir um valor de US\$ 42,9 bilhões, com crescimento médio de 23,3% no período de 2018 a 2025 (Tino *et al.*, 2020).

A impressão 3D tem o potencial de se dispersar por todos os setores, simplificando os ciclos de desenvolvimento de produtos e reduzindo custos por meio de prototipagens mais flexíveis. Nesse contexto de alta exigência de inovação e de redução do ciclo de vida do produto, as empresas podem obter, com o processo de fabricação por meio da impressão 3D (PF3D), maior economia de custos e de tempo, na fase inicial do desenvolvimento de produtos (Besko *et al.*, 2017).

Essa tecnologia proporciona a identificação e a correção de erros já no estágio de esboço, durante o processo inicial de desenvolvimento, e ainda a previsão, sem restrições, de formas e geometrias para a construção de protótipos (Cardoni Neto & Souza, 2022).

Diversos são os tipos de impressoras 3D: SLA (Estereolitografia), SLS (Sinterização Seletiva a Laser), DLP (Processo de Luz Digital), SLM (Derretimento Seletivo a Laser), DMLS (Sinterização a Laser de Metal Direto), EBM (Derretimento de Feixe de Elétrons), e Polyjet. Cada tipo será tratado de maneira detalhada na próxima seção do trabalho. Neste estudo será considerado apenas o modelo FDM (Modelagem de Deposição Fundida) (Cardoni Neto *et al.*, 2022).

As impressoras FDM são as mais difundidas e comuns, principalmente pelo baixo custo do processo, tanto da máquina quanto do material utilizado, geralmente polímeros termostáticos em forma de filamentos sólidos que serão fundidos posteriormente. A potencialização das impressoras FDM tanto em grandes indústrias, quanto no micro empreendedorismo estimulou um mercado exclusivo para filamentos de impressão. A grande variedade dessas empresas de filamentos gera a necessidade de uma norma técnica a ser implementada para produção, para que dessa forma o cliente final possa assegurar a qualidade da sua peça, independentemente da marca (Cardoni Neto *et al.*, 2022).

Um exemplo da necessidade de qualidade do filamento, que resulta nas peças impressas, pôde ser percebido durante a pandemia do Coronavírus. A comunidade de impressão 3D de muitos países focou em projetar e produzir peças em caráter emergencial para doação a hospitais e profissionais da saúde, disponibilizando modelos de forma livre ao público em geral (Tino *et al.*, 2020). Dentre os equipamentos fornecidos pela comunidade e empresas da área de impressão 3D ao redor do mundo, incluem-se diferentes tipos de máscaras, válvulas de respiradores, máscaras do tipo *Face Shield* – que funcionam como um escudo facial contra respingos –, além de componentes e outros acessórios de proteção (Silva *et al.*, 2022).

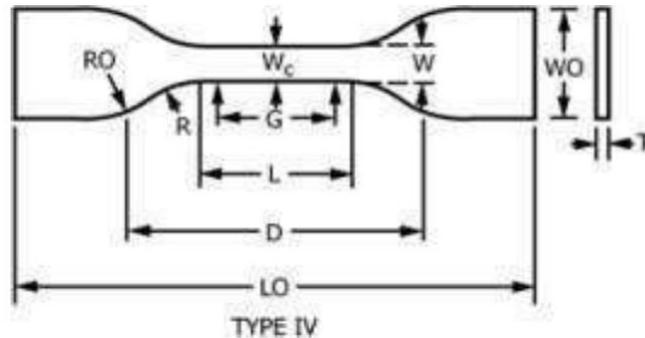
O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo sobre a variabilidade entre as propriedades dos diferentes tipos de PLA (Ácido polilático) produzidos nacionalmente, e investigar a necessidade ou não de criação e inclusão de normas técnicas que se apliquem ao produto. Ao final do estudo, pretende-se identificar possíveis discrepâncias entre o mesmo material no mercado brasileiro, e dessa forma auxiliar o consumidor final na escolha do produto que atender melhor sua necessidade.

II. METODOLOGIA

Para este trabalho, dezoito corpos de prova de PLA HT natural foram modelados computacionalmente de acordo com a norma ASTM D638 (ASTM, 2022) para realização de ensaio de ensaio de tração. Os corpos de prova pertencem a seis diferentes marcas nacionais, com filamentos PLA HT natural, 1,75mm.

As especificações quanto à forma e dimensões dos corpos de prova e velocidade de tração são estabelecidas na norma ASTM D638, foi utilizado o tipo IV demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Corpo de prova conforme norma ASTM D638.



Fonte: ASTM, 2022.

A Tabela 1 registra as dimensões do corpo de prova conforme a Norma ASTM D638.

Tabela 1 – Dimensões dos corpos de prova.

Dimensões	Medidas (mm)
W- Largura da Seção Estreita	6
L - Comprimento da Seção Estreita	33
WO - Largura Total	19
LO - Comprimento Total	115
G - Comprimento do Calibre/Bitola	25
D - Distância Entre as Garras	65
R - Raio do Filete	14

Fonte: Autores, 2023.

A impressão 3D por *Fused Deposition Modeling* (FDM) é um dos processos mais comuns e amplamente utilizados na impressão 3D. Ele envolve várias etapas, desde a criação do modelo CAD até a impressão física da peça em 3D. A Figura 2 possibilita a compreensão do processo FDM, incluindo suas principais etapas.

Figura 2 – Fluxograma do processo de impressão FDM.



Fonte: Autores, 2023.

A primeira etapa do processo é criar o modelo 3D no software CAD (*Computer Aided Design*). O CAD é uma ferramenta que permite aos projetistas criarem modelos

tridimensionais de peças utilizando recursos de design, como modelagem geométrica, dimensionamento e posicionamento de componentes. O modelo CAD é o arquivo digital que servirá como base para a impressão 3D. O software utilizado para projetar a peça de prova foi o Tinkercad®.

A temperatura é um dos parâmetros mais críticos na impressão 3D, pois afeta diretamente as propriedades do material utilizado e a qualidade da peça final. A temperatura influencia a viscosidade do material, a aderência das camadas, a formação de defeitos, como *warping*, delaminação, e a resistência mecânica da peça final. O controle preciso da temperatura do bico de impressão e da mesa de impressão é fundamental para a qualidade da peça impressa (Besko, 2017).

Uma temperatura de bico muito alta causará extrusão excessiva com bolhas e espinhas em toda a impressão. No outro extremo do espectro, uma temperatura muito baixa causará subextrusão, onde nem todas as camadas são totalmente impressas, o ajuste de temperatura da mesa proporcionará uma melhor aderência, enquanto uma mais fria pode levar à deformação (ALL3DP).

A temperatura de bico utilizada na primeira camada foi de 215 °C na primeira camada e 200 °C no restante das camadas. A temperatura da mesa foi configurada em 70 °C na primeira camada, para melhor adesão da peça. Já a temperatura do ambiente foi em média 24 °C.

A altura da camada influencia a resolução superficial, a precisão dimensional, o tempo de impressão e a força de adesão entre as camadas. Dentre os fatores influenciados pela espessura, destacam-se a velocidade de produção e o custo dos modelos, já que quanto mais finas são as camadas, maior o tempo requerido para processar a peça inteira, afetando no custo final. A qualidade e o acabamento da peça também sofrem interferência, espessuras menores trazem acabamento externo melhor e espessuras maiores geram acabamentos mais grosseiros (Silva *et al.*, 2022). A primeira camada das peças foi configurada em 0,28 mm de altura, já o restante de 0,20 mm.

A velocidade de impressão caracteriza-se pela velocidade que o bico extrusor se movimenta durante todo o período de impressão (Gibson *et al.*, 2010). A velocidade influencia na fusão do material, na deposição das camadas, na formação de defeitos, como escorrimiento e deslocamento, e na precisão dimensional da peça. Em geral, a qualidade de impressão diminui à medida que o tempo de impressão é reduzido (ALL3DP). Para esse trabalho a velocidade da saia foi configurada em 24mm/s e para o restante da peça 15mm/s.

A retração é um processo em que o material se contrai durante a impressão 3D, quando o bico de impressão se move para uma nova região da peça sem depositar material. Muita retração pode causar congestionamentos no bico, pois o filamento é empurrado de forma mais agressiva para dentro e para fora do bico (ALL3DP). A retração é controlada por algumas configurações específicas, sendo a principal delas a velocidade de retração que neste trabalho foi de 60 mm/s.

O fluxo, ou taxa de alimentação de material, é a quantidade de material que é depositada pelo bico de impressão em uma determinada velocidade durante a impressão 3D. O fluxo afeta a densidade do material depositado, a adesão entre as camadas e a precisão dimensional da peça final. O controle adequado do fluxo é essencial para obter uma peça bem formada e com boa qualidade. O fluxo utilizado em toda peça foi de 1500 mm³/s.

A orientação de impressão é a posição da peça na mesa de construção em relação aos eixos X, Y e Z. Este parâmetro deve ser analisado considerando a geometria da peça, o tempo para impressão e o acabamento que se espera. Além disso, certas orientações farão com que haja a necessidade da criação de suportes (Gibson *et al.*, 2010).

A orientação da deposição dos filamentos é a maneira como os filamentos são depositados, camada a camada 0°, 90° ou 45°, X, Y e Z respectivamente. Esta escolha

fornece à peça diferentes comportamentos diante dos esforços a que ela será submetida (Sood *et al.*, 2011). As peças de prova foram impressas em 45°.

A espessura da parede refere-se à camada de material depositada para formar a superfície externa da peça. A espessura da parede pode afetar a resistência mecânica, a estabilidade dimensional e a aparência da peça final. A seleção adequada da espessura da parede é importante para garantir a qualidade da peça, levando em consideração as propriedades desejadas e a velocidade de impressão. Quanto maior a espessura da casca, mais fortes serão as peças e mais tempo levarão para imprimir, e dessa forma, mais camadas ou paredes completamente sólidas a máquina terá de imprimir (ALL3DP). A espessura da parede utilizada foi de 0,42 mm.

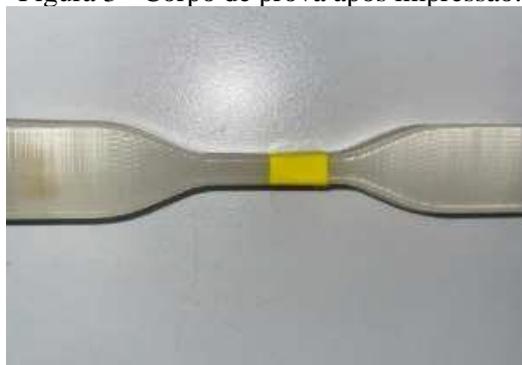
O filamento é o material de alimentação utilizado na impressão 3D por FDM. Ele é fornecido em rolos e é inserido na impressora 3D por meio do alimentador de filamento. Antes de iniciar a impressão, é necessário carregar o filamento na impressora 3D e alimentá-lo corretamente para o extrusor.

Neste trabalho, utilizou-se 6 marcas nacionais diferentes, do material PLA HT de cor natural com espessura de 1,75 mm. As fabricantes de filamentos deste trabalho foram identificadas como A, B, C, D, E, e F.

Após o *G-code* obtido, a impressora recebe através de conexão USB, ou por cartão de memória o arquivo STL. Dessa forma o filamento é aquecido e o extrusor deposita camadas sucessivas do material derretido sobre a plataforma de impressão, seguindo as instruções do arquivo de impressão. Cada camada é solidificada rapidamente ao ser resfriada, formando a base para a próxima camada. Esse processo é repetido camada por camada até que a peça seja totalmente impressa. A impressora utilizada neste processo foi a Creality Ender- 3.

Após a conclusão da impressão, a peça impressa em 3D pode exigir alguns processos de pós-processamento, dependendo das necessidades do projeto. Isso pode incluir a remoção de suportes de impressão, lixamento, polimento, pintura, tratamentos térmicos ou outros acabamentos para melhorar a qualidade superficial e as propriedades mecânicas da peça. A Figura 3 permite a visualização do modelo após a impressão na fase de pós-processamento.

Figura 3 - Corpo de prova após impressão.



Fonte: Autores, 2023.

Cada amostra foi impressa seguindo os mesmos parâmetros, o tempo de impressão total foi de 10 horas e 48 minutos, e foram gastos 51,48 metros de filamento. Dividiu-se as amostras em uma triplicata de cada marca, identificadas como A, B, C, D, E e F. Após a impressão, as peças foram submetidas a um ensaio de tração.

O ensaio de tração é o ensaio mais utilizado na caracterização mecânica, ensaios de tensão-deformação de polímeros termoplásticos, com o uso da máquina de tração. A norma estabelece que a velocidade do ensaio deve ser tal que a ruptura do corpo de prova

ocorra entre o intervalo de tempo de 0,5 e 5 minutos. Neste trabalho a máquina utilizada para os ensaios de tração foi a EMIC, modelo DL e Capacidade Máxima 5 kN.

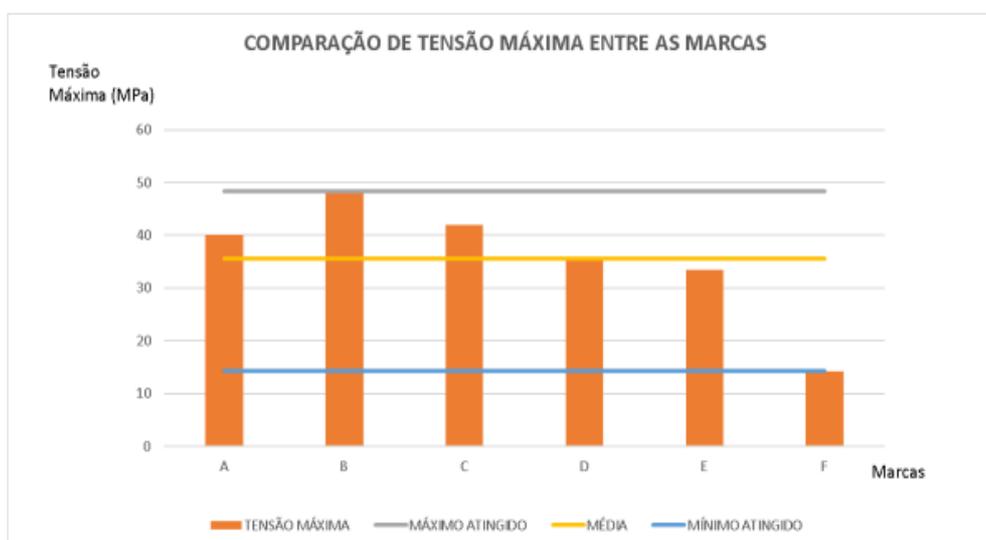
As dezoito amostras foram testadas dentro das tolerâncias descritas na norma técnica supracitada (ASTM D638-22), e após a finalização do ensaio foram compilados dados importantes para comparação entre os materiais utilizados. Para cada grupo de amostras foram obtidos a Tensão Máxima, Tensão de Escoamento e o Módulo de Elasticidade, bem como a média, e o desvio padrão das triplicatas.

III. RESULTADOS

A seguir serão apresentadas nas Figuras 4, 5 e 6 os comparativos de Tensão Máxima, Tensão de Escoamento e Módulo de Elasticidade entre as marcas testadas.

A Figura 4 representa a notória diferença entre a resistência máxima dos fabricantes do referido tipo de filamento. A marca B apresentou resistência de aproximadamente 48,29 MPa, enquanto a marca F 14,26 MPa. Portanto, a escolha do material pode ser crucial para aplicações específicas que exigem maior durabilidade e suportam cargas mais intensas, considerando a resistência como um fator-chave na tomada de decisão.

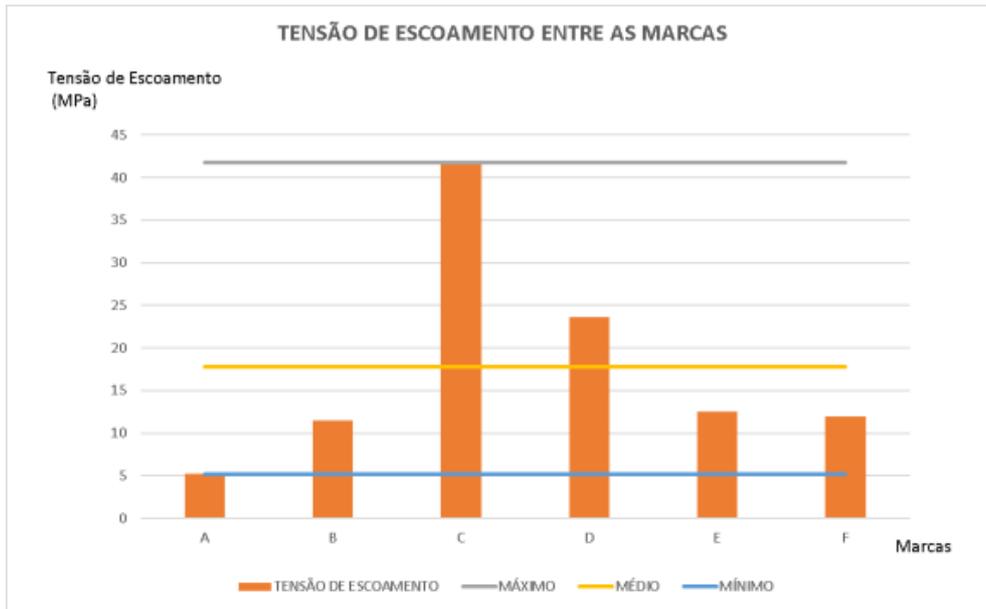
Figura 4 - Gráfico de comparação entre as tensões médias máximas de cada marca.



Fonte: Autores, 2023.

Observa-se através dos dados da Figura 5 que há discrepâncias entre o limite de escoamento do material das marcas. A marca C apresentou resultado de aproximadamente 41,86 Mpa, e a marca A 5,19 MPa. Levando em conta que o escoamento é a região onde há a deformação irreversível da peça, a partir desse valor infere-se a capacidade máxima do material em resistir à deformação plástica, para que o material escolhido seja adequado às demandas do projeto, considerando fatores como segurança, durabilidade e conformidade com requisitos técnicos. Observou-se também que a fratura da peça foi quase instantânea das marcas C e F, enquanto A e B se deformam muito plasticamente, ou seja, mesmo se tratando de um mesmo produto, comportam-se de maneira muito distinta.

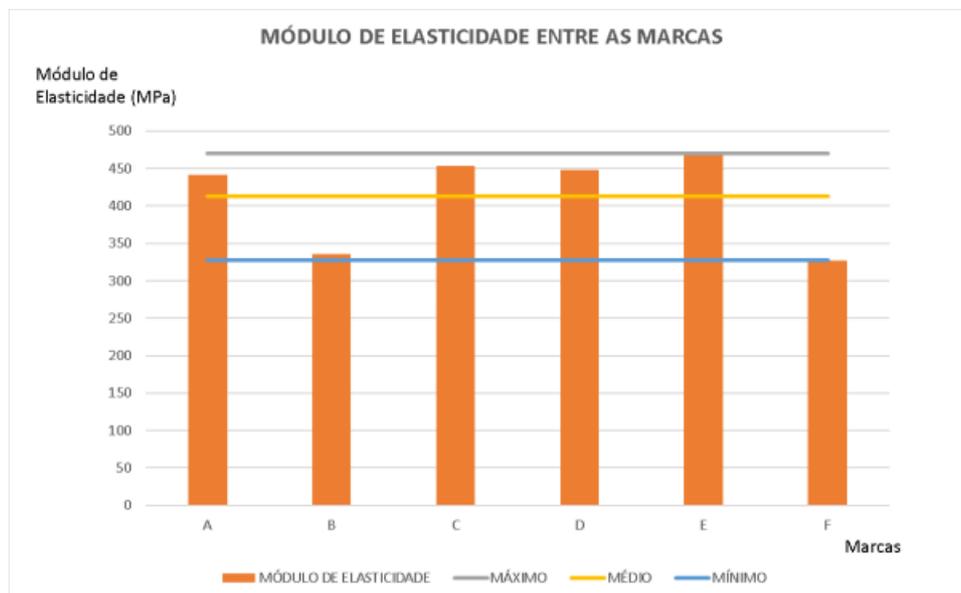
Figura 5 - Gráfico de comparação entre as tensões de escoamento médias máximas de cada marca.



Fonte: Autores, 2023.

A Figura 6 compara a rigidez e a capacidade de deformação elástica dos filamentos utilizados no estudo. Observa-se os materiais com módulos mais altos (A, C D e E) que presumivelmente são mais rígidos e têm menor capacidade de deformação elástica e se identifica os materiais com módulos mais baixos, (B e F): mais flexíveis e com maior capacidade de deformação elástica. Também nesse caso, a escolha do fabricante é relevante, já que fatores como a resistência estrutural desejada, a flexibilidade requerida e a adaptabilidade aos requisitos específicos poderão ser afetadas com as disparidades do módulo de elasticidade apresentadas.

Figura 6 - Gráfico de comparação entre as os módulos de elasticidade médios máximos de cada marca.



Fonte: Autores, 2023

IV. CONCLUSÃO

Este estudo analisou a diferença entre as marcas nacionais de PLA HT natural, um filamento amplamente utilizado na impressão 3D. A partir dos dados fornecidos pelo ensaio de tração, comparou-se seis marcas nacionais e diante dos resultados ficou evidente que apesar dos filamentos serem vendidos como o mesmo tipo de material, as variações das vinte e cinco propriedades foram significativas.

Analisando a marca que apresentou maior Tensão máxima (B) e a que apresentou a menor (F), observa-se uma diferença de 70% nos valores obtidos. Já no quesito tensão de escoamento, a discrepância foi ainda maior: até 86% entre o maior (C) e o menor (A) resultado. Na última propriedade avaliada, módulo de elasticidade, a divergência foi menor: 30% entre o maior (E) e o menor (F) resultado.

Portanto, observando as disparidades relevantes entre as referidas fabricantes, compreende-se que a elaboração de uma norma que estabeleça critérios claros e rigorosos, incluindo métodos de teste padronizados, faixas de tolerância aceitáveis e requisitos mínimos de desempenho, é essencial para mitigar tais diferenças. O cumprimento de normas na fabricação de um produto garante a consistência, qualidade e segurança dele, além de fornecer diretrizes claras a serem seguidas.

Conclui-se que ao adotar uma norma, as marcas nacionais de PLA HT natural poderão fornecer informações precisas e comparáveis, permitindo que os clientes façam escolhas baseadas em dados confiáveis, garantindo que suas necessidades e expectativas sejam atendidas, além de gerar impacto positivo na indústria da impressão 3D como um todo. Ao diminuir as grandes discrepâncias entre as propriedades mecânicas do material, será possível estabelecer um ambiente mais equilibrado e competitivo, impulsionando a inovação e a qualidade dos produtos.

V. REFERÊNCIAS

ASTM D638-22, **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics**, American Society for Testing and Materials, 2022.

BESKO, Marcos; BILYK, Claudio; SIEBEN, Priscila. Aspectos técnicos e nocivos dos principais filamentos usados em impressão 3D. **Gest. Tecnol. Inov.** v.1 n. 3, p. 9-18, 2017. ISSN 2595-3370. Disponível em: <https://www.opet.com.br/faculdade/revista-engenharias/pdf/n3/Artigo2-n3-Bilyk.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2017.

CARDONI NETO, Jonas *et al.* Study of the application of 3D printing for manufacturing electric vehicles. **Revista Sodebras [on line]**, v. 17, n.193, p.128-136, Jan. 2022. ISSN 1809-3957. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.17.2022.193.128>.

GIBSON, Ian *et al.* **Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing**. Berlim, 2015.

SILVA, André *et al.* Development and characterization of pla biofilament combined with periferitonbiomassfor 3d printing. **Concilium [on line]**. v. 23, n. 16, p. 327– 344, 2022. DOI: 10.53660/CLM-1788-23M20.

TINO, Rance *et al.* COVID-19 and the role of 3D printing in medicine. **3D printing in medicine [on line]**. v. 6, n. 11, p.1-8. Abr. 2020. DOI:10.1186/s41205-020-00064-7.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

INVESTIGAÇÃO DO IMPACTO DE MISTURAS NÃO ESTEQUIOMÉTRICAS NO DESEMPENHO DE UM MOTOR MONOCILÍNDRICO DE PESQUISA MOVIDO A INJEÇÃO DIRETA DE GASOLINA

INVESTIGATION OF THE IMPACT OF NON-STOCHIOMETRIC MIXTURES ON THE PERFORMANCE OF AN ENGINE POWERED BY GASOLINE DIRECT INJECTION

Lucimar Venancio Amaral¹
Gabriel Heleno de Paula Araújo²
Augusto César Teixeira Malaquias³
André Guimarães Ferreira⁴

Resumo – Embora a engenharia se desenvolva constantemente em prol da mobilidade sustentável através de alternativas como a eletrificação da frota, ou uso de biocombustíveis em larga escala, os motores a combustão interna ainda são uma realidade presente no cotidiano da população mundial. Uma tecnologia relevante na redução do consumo de combustível, e emissões de poluentes, é o uso da injeção direta de gasolina. Uma investigação experimental foi realizada para avaliar o desempenho de um motor monocilíndrico de pesquisa operando sob diferentes condições de rotação, pressão e razão ar/combustível, utilizando uma gasolina premium comercial brasileira enquanto combustível. Uma unidade eletrônica de controle foi associada ao motor para otimizar a calibração a diferentes relações ar/combustível. O motor foi calibrado para o torque máximo limitado por detonação. A fração de massa queimada e o consumo específico de combustível foram calculados com base nos dados da curva de pressão no cilindro. Esses dados foram obtidos a partir de 200 ciclos registrados do motor para cada condição de operação. O menor consumo específico de combustível foi registrado quando se utilizou λ de 1,2 e volta a subir para valores de λ que ultrapassam esse patamar.

Palavras-chave: Misturas Pobres. Gasolina Premium. Injeção Direta.

Abstract - Although engineering is constantly developing in favor of sustainable mobility through alternatives such as the electrification of the fleet, or the use of biofuels on a large scale, internal combustion engines are still a reality present in the daily lives of the world's

¹ Doutoranda em Engenharia Mecânica (UFMG); Docente do Instituto Federal de Minas Gerais e Centro Universitário de Belo Horizonte. Contato: lucimarvenancioamaral@gmail.com.

² Graduando em Engenharia Mecânica (UFMG). Contato: helenogabriel799@gmail.com.

³ Doutor em Engenharia Mecânica (UFMG); Docente da Universidade Federal de Minas Gerais. Contato: augustocesartm@gmail.com.

⁴ Doutor em Engenharia Mecânica (UFMG); Docente Titular do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Contato: agferreira@cefetmg.br.

population. A relevant technology for reducing fuel consumption and pollutant emissions is the use of direct gasoline injection. An experimental investigation was carried out to evaluate the performance of a research single-cylinder engine operating under different conditions of rotation, pressure and air/fuel ratio, using a Brazilian commercial premium gasoline as fuel. An electronic control unit was associated with the engine to optimize calibration at different air/fuel ratios. The engine was calibrated for maximum knock-limited torque. The fraction of mass burned and specific fuel consumption were calculated based on data from the cylinder pressure curve. This data was obtained from 200 recorded engine cycles for each operating condition. The lowest specific fuel consumption was recorded when using a lambda of 1.2 and increases again for lambda values that exceed this level.

Keywords: *Lean Mixtures. Premium Gasoline. Direct Injection.*

I. INTRODUÇÃO

A injeção direta (GDI) e injeção indireta (PFI) são as duas principais tecnologias de injeção de combustível nos motores a gasolina. A tecnologia GDI em motores de ignição por centelha é nova, quando comparada aos sistemas PFI (Heywood, 1988). Quando este sistema é utilizado, a gasolina é injetada diretamente na câmara de combustão, enquanto, com o sistema PFI, o combustível é introduzido no coletor de admissão, próximo às válvulas de admissão (Payri *et al.*, 2019)

A utilização da injeção direta permite o aumento de potência e a redução do consumo específico de combustível (SFC) dos motores de combustão interna movidos a centelha (Lee *et al.*, 2020).

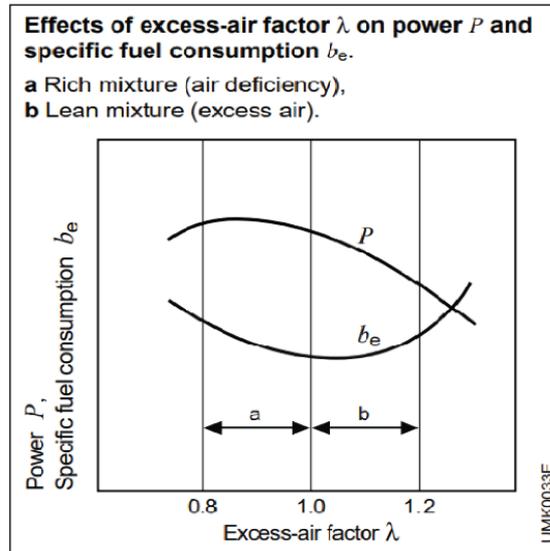
Dentre as vantagens que podem ser obtidas, a principal está relacionada à preparação da mistura ar-combustível. Esses sistemas permitem que o motor funcione com misturas estratificadas. Nesse caso, há redução do fluxo de ar na admissão a baixas cargas do coletor de admissão, maior taxa de compressão volumétrica, menores temperaturas durante o ciclo e baixíssima ocorrência de atraso na admissão da mistura que é injetada, fato que ocorre quando a injeção indireta é utilizada (Liu *et al.*, 2023).

Segundo Baeta (2012), a tecnologia GDI foi implementada pela primeira vez no Brasil há vinte anos, e desde então agora estão sendo realizadas mais investigações sobre seu desempenho mediante uso de diferentes tipos de gasolina comercial tipo *premium* disponíveis no País.

Neste trabalho, um motor monocilíndrico de pesquisa foi escolhido para análise do comportamento de diferentes fatores de mistura de ar/combustível (λ) de 0,85 a 1,55.

A Figura 1 representa a correlação entre SFC e λ para utilização de gasolina comum, em que o uso de mistura pobre leva à diminuição no consumo específico de combustível até um ponto específico. Neste artigo, o mesmo tipo de diagrama será gerado para gasolina premium usando o mecanismo GDI.

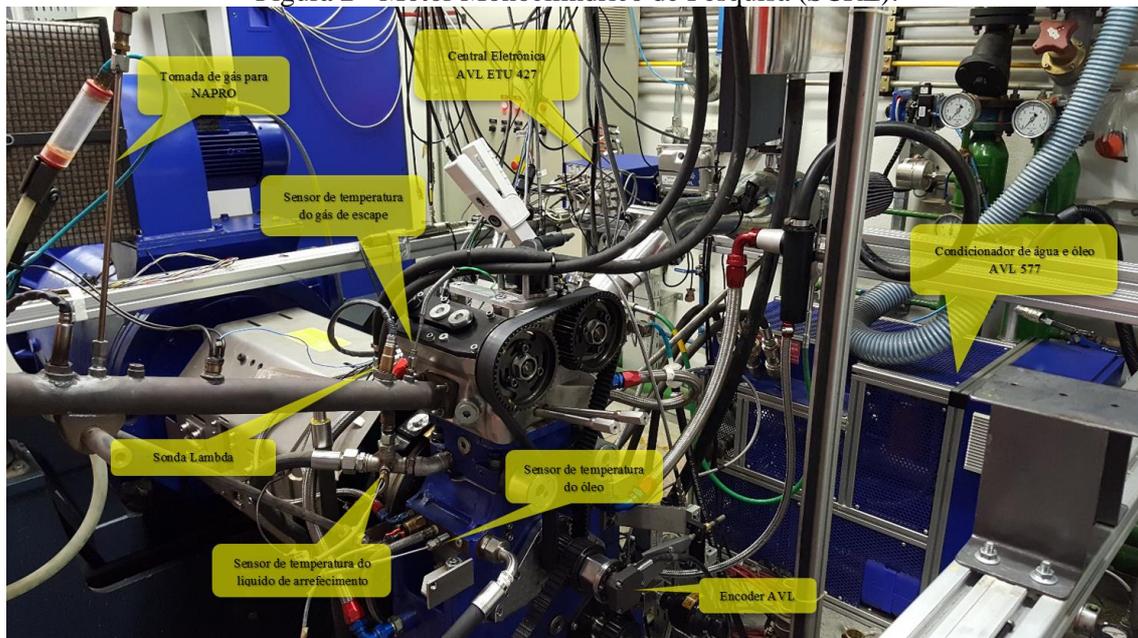
Figura 1 - Efeitos do fator lambda na potência (P) e no consumo específico de combustível (b_e).



Fonte: Heywood, 1988.

O SCRE, apresentado através da Figura 2, permite avaliar diferentes parâmetros durante o processo de combustão. Ele possui apenas um cilindro, a fim de evitar a interferência de outros cilindros no processo. O SFC é calculado com base no fluxo mássico de combustível (Ferguson, 1986).

Figura 2 - Motor Monocilíndrico de Pesquisa (SCRE).



Fonte: Autores

O tempo de ignição é um parâmetro controlado e ajustado em tempo real durante os testes, e tem a função de fornecer o tempo necessário para a combustão iniciar e se desenvolver para maximizar a produção do trabalho realizado pelo pistão durante o curso de expansão (Baeta, 2012). Já o consumo específico e pressão no cilindro são mensurados e registrados pelos sistemas eletrônicos acoplados ao motor, e foram utilizados para avaliar a influência do fator lambda nas condições de mistura rica e mistura pobre na eficiência do motor GDI, alimentado pela gasolina comercial *premium* nacional.

II. METODOLOGIA

Um SCRE monocilíndrico modelo 5405, fabricado pela AVL, e naturalmente aspirado, foi utilizado nesta análise experimental, para a operação em ignição por centelha (ciclo Otto). O cabeçote tem duas válvulas de admissão e duas válvulas de escape. A Tabela 1 apresenta as especificações do motor.

Tabela 1 – Parâmetros do motor utilizado para testes.

Parâmetro	Valor
Diâmetro do cilindro (mm)	82
Curso do pistão (mm)	86
Comprimento da biela (mm)	144
Volume fixo (cm ³)	41,2
Volume móvel (cm ³)	454
Taxa de compressão	12:1

Fonte: Autores

A bancada de testes do motor é equipada com um dinamômetro de motor assíncrono (AC Dyno) modelo AVL DynoDur 160, com potência máxima, torque e velocidade de 160 kW, 400 Nm e 10000 rpm, respectivamente.

Uma unidade de controle eletrônico (ETU), modelo AVL 427, foi usada para gerenciar os parâmetros de injeção direta de combustível e controlar o tempo de ignição por centelha. Um termopar tipo K da marca AVL, e um termistor da mesma fabricante medem a temperatura do gás de exaustão e do ar de admissão. A pressão barométrica, a temperatura e a umidade da célula de teste são medidas pelo sensor Vaisala, modelo HMT330.

Um sistema OPEN PUMA foi utilizado para controlar as instalações das células de teste, com aquisição de dados e monitoramento automático dos testes. A pressão no interior da câmara de combustão foi medida com um transdutor piezoelétrico de pressão marca AVL GU22CK para cada posição do virabrequim. O ganho do amplificador foi ajustado via software AVL, dependendo da pressão máxima. O sistema de aquisição de dados e pós-processamento da Análise de Combustão AVL IndiModul 622 foi utilizado para o tratamento e pressão do cilindro a 0,1° da posição angular (°CA). O AVL IndiCom foi utilizado para monitoramento de dados em tempo real e Concerto AVL para posterior análise (pós-processamento).

O sistema de arrefecimento foi ajustado para $90 \pm 1^\circ\text{C}$ pelo sistema de condicionamento de ar AVL, modelo AVL 577. Água e óleo foram acionados pelo condicionador por bombas externas, de modo que o motor não fornece energia para sistemas de refrigeração e lubrificação. As temperaturas do lubrificante e da água nos sistemas de entrada e saída foram medidas por termoresistência (PT100). A medição de lambda foi realizada no coletor de escape por um modelo ETAS LA 4, utilizando um sensor de oxigênio da Bosch, modelo LSU 4.2.

A Tabela 2 lista as incertezas pertinentes aos instrumentos utilizados.

Tabela 2 – Características técnicas da instrumentação.

Grandeza	Tipo de sensor	Faixa de medição	Incerteza (Tipo B)
Fator lambda	Banda Larga	0,65 – 8,10	±0,009
Pressão na câmara de combustão	Piezoelétrico	0 – 250 bar	± 0,3% do fundo de escala
Pressão no coletor de admissão	Piezoelétrico	0 – 5 bar	± 0,1% do fundo de escala
Pressão no coletor de exaustão	Piezoelétrico	0 – 10 bar	± 0,1% do fundo de escala
Temperatura do fluido de arrefecimento	PT100	-50 – 650 °C	± 0,8%
Temperatura do óleo lubrificante	PT100	-50 – 650 °C	± 0,8%
Temperatura no coletor de admissão 1	PT100	-50 – 650 °C	± 0,8%
Temperatura no coletor de admissão 2	Termopar tipo K	-100 – 1300 °C	± 0,1% do fundo de escala +1,4°C
Vazão mássica de combustível	Gravimétrico	0 – 160 kg/h	± 0,05%
Velocidade de rotação do motor	Óptico	50 – 20000 rpm	± 3 rpm

Fonte: Autores

As propriedades da gasolina *premium* comercial são representadas pela Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades da gasolina *premium*

Propriedades da gasolina	Valor
Etanol v/v (%)	26,2
Densidade 20°C (kg/m ³)	763,4
Reearch Octane Number (RON)	101
Poder calorífico inferior	38,54 MJ/kg

Fonte: Petrobrás (2023)

A Tabela 4 explicita as condições operacionais do motor monocilíndrico de pesquisa definido como referência para os testes experimentais. O motor foi ajustado para obtenção do fator lambda em excesso de 0,85 (mistura rica) até 1,50 (mistura pobre) em condição de válvula aberta e 4000 rpm.

O avanço de ignição (momento em que a centelha é liberada pela vela) foi ajustado em todas as condições de teste para a condição de torque máximo antes da ocorrência de detonação, e o tempo de ignição foi ajustado para a melhor eficiência de conversão de combustível na condição estequiométrica. Para os testes realizados, o fator lambda variou entre 0,85 e 1,50 em intervalos de 0,05.

Tabela 4 – Condições operacionais do SCRE

Condição	Valor
Rotação do motor	4000 rpm
Carga do motor	Válvula aberta
Pressão de injeção	80 bar
Formação de mistura	Homogênea
Temperatura dos fluidos	90°C

Fonte: Autores

A calibração do SCRE foi feita conforme etapas listadas abaixo:

1. Definição da rotação da rotação do motor;
2. Definição da posição do acelerador (WOT);
3. Ajuste da pressão de combustível da linha (80 bar);
4. Definição da quantidade de combustível para $\Lambda = 1,0$;
5. Definição de ignição inicial (10° BTDC);
6. Ajuste do tempo de injeção (60° BTDC);
7. Verificar se os sinais de injeção e ignição na ETU foram lidos e aplicados corretamente;
8. Estabilização de 60 segundos em condições e preparação da aquisição;
9. Iniciação de aquisição via sistema PUMA;
10. Iniciação de aquisição do INDICOM (200 ciclos);
11. Fim do processo.

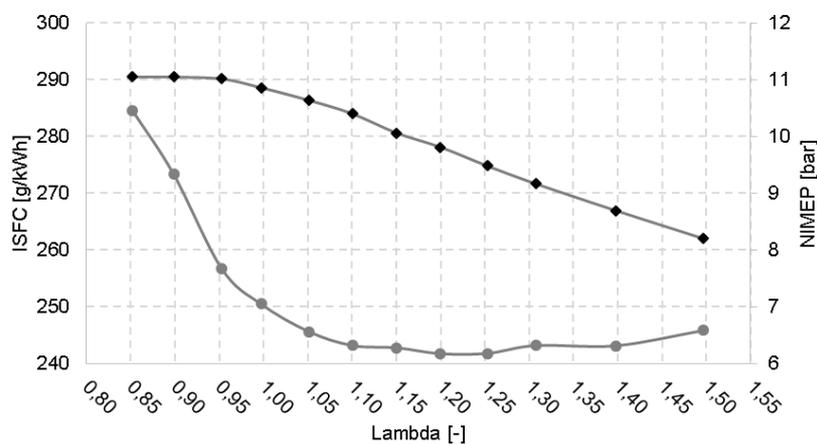
Os resultados foram comparados com o software STATISTICA® através de execução de teste de diferença mínima significativa - LSD.

III. RESULTADOS

Os resultados obtidos com o SCRE operando com uso de gasolina *premium* nacional são apresentados e discutidos para avaliar o desempenho geral da eficiência do motor durante os testes com variação de Λ , válvula totalmente aberta e rotação de 4000 rpm. Para todas as condições de teste atingiu-se o torque máximo.

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos para o Consumo Específico de Combustível Indicado (ISFC) em cinza, e a Pressão Efetiva Média Indicada Líquida (NIMEP) em preto, em função da variação de Λ .

Figura 3 - Comportamento de ISFC e comportamento de NIMEP a diferentes fatores Λ .



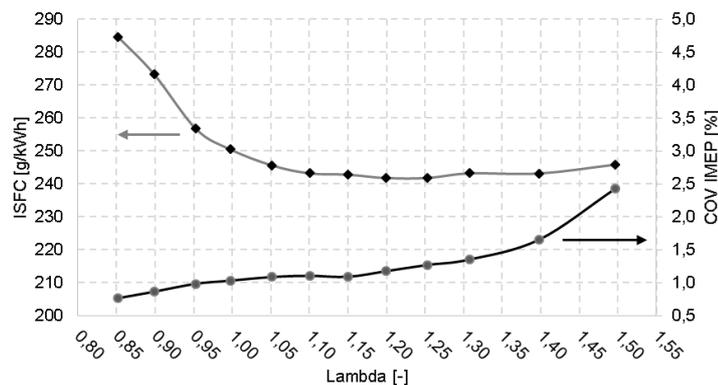
Fonte: Autores

Quando o motor opera com λ em condições de mistura rica ($\lambda < 1,00$), o NIMEP alcança os valores máximos ($> 11,0$ bar), mas o ISFC aumenta em mais de 14% (de 250 g/kWh a 285 g/kWh).

Por outro lado, se o fator λ entrar em condições de mistura pobre ($\lambda > 1,00$), o NIMEP diminuirá continuamente até o valor mínimo observado neste trabalho (8,2 bar em $\lambda = 1,50$). Nesta condição, o ISFC atinge um valor mínimo (242 g/kWh em $\lambda = 1,20$) e começa a aumentar novamente até 246 g/kWh ($\lambda = 1,50$).

O menor ISFC foi observado para λ entre 1,20 e 1,25. Outros parâmetros importantes são estabilidade e qualidade de combustão obtidas através da covariância do IMEP (COV IMEP) em função de λ , de acordo com a Figura 4.

Figura 4 - Comparação entre estabilidade de combustão e ISFC em função do fator λ .

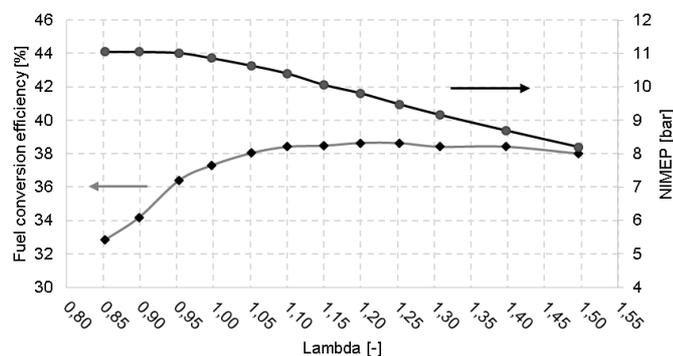


Fonte: Autores.

A Figura 4 apresenta baixa covariância de IMEP (COV IMEP $< 2\%$) de $\lambda = 0,85$ a 1,45. Para λ igual a 1,45 e 1,50, esse parâmetro se tornou maior que 2%. Isso significa que a combustão se tornou instável e estão presentes condições de falha (Heywood, 1988).

O comportamento da eficiência de conversão de combustível (η_{cc}) em diferentes valores de λ s é representado na Figura 5. Quando λ passa de mistura rica ($\lambda = 0,85$) a mistura pobre ($\lambda = 1,20$) a eficiência de conversão de combustível atinge valor máximo, corroborando o menor consumo específico de combustível encontrado na mesma condição (vide Figura 4).

Figura 5 – Eficiência de conversão de combustível e NIMEP para diferentes λ s.

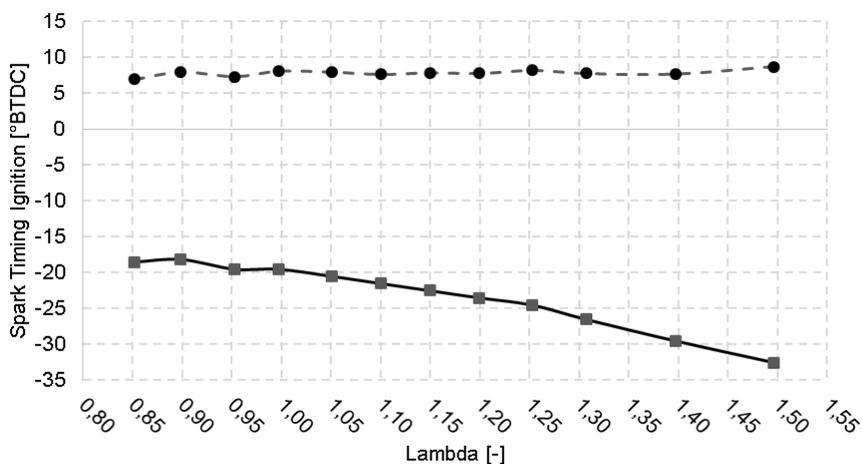


Fonte: Autores.

Outro importante parâmetro nesta análise é o avanço de ignição (representado pela curva contínua). O comportamento representado na Figura 6 mostra a constante necessidade de ajuste do avanço em função do aumento de lambda. Isso ocorre em função da diminuição da quantidade de combustível utilizado no processo de combustão envolvendo mistura pobre.

Como há menos combustível utilizado, o tempo de ignição precisa ser maior, para que a combustão se mantenha estável, e assim maior quantidade de energia seja convertida em trabalho (Yang *et al.*, 2022).

Figura 6 – Eficiência de conversão de combustível e NIMEP para diferentes lambdas.



Fonte: Autores

IV. CONCLUSÃO

O empobrecimento da mistura ar/combustível apresentou impacto direto na redução de torque indicado, no entanto, houve aumento na eficiência de conversão de combustível e redução do consumo específico ao operar com mistura pobre, especialmente perto da região lambda 1,20, indicando que esta é a melhor relação ar/combustível para operação do motor nas condições e com o combustível empregados neste trabalho.

O empobrecimento da mistura provou ser uma ação/estratégia eficaz para reduzir o consumo de combustível. No entanto, o excesso de empobrecimento leva a perdas de desempenho e aumento da variabilidade cíclica, conforme demonstrado pelos resultados.

Quanto ao enriquecimento, a mistura não se mostrou eficaz para elevar a potência indicada produzida pelo motor, e levou a uma redução na eficiência de conversão de combustível combinada a um aumento no consumo específico, fato que corrobora o melhor desempenho da mistura empobrecida quando lambda vale 1,20.

Importante ressaltar que os dados estão diretamente vinculados a condição experimental aqui desenhada e por ser um só teste, pode haver variações significativas quando outros parâmetros forem avaliados.

V. REFERÊNCIAS

- BAETA, J.G. **Overview of Different Mixture Preparation Layouts of Gasoline Direct Injection (GDI) Systems for Automotive Applications**. 10th SAE Powertrain Symposium. Itapueva, SP, Brasil: 22 p. 2012.
- FERGUSON, C. **Internal Combustion Engines**. 2nd edition. John Wiley & Sons, inc., New York, USA, 368p., 1986.
- HEYWOOD, J. **Internal combustion engine fundamentals**. McGraw-Hill Education, 1988. ISBN 007028637X.
- LEE, J. *et al.* Comparison between gasoline direct injection and compressed natural gas port fuel injection under maximum load condition. **Fuel**. v. 197, 2020.
- LIU, J. *et al.* Study of water injection on suppressing knock in a high compression ratio and supercharged hybrid gasoline engine. **Energy**. v. 287, 2024.
- PAYRI, F. *et al.* Influence of the n-dodecane chemical mechanism on the CFD modelling of the diesel-like ECN Spray A flame structure at different ambient conditions. **Combustion and Flame**. v. 208, pp. 198-218, 2019.
- PETROBRÁS. **Linha Petrobrás Podium**. 2023. Disponível em: <https://petrobras.com.br/quemsomos/linhapodium#:~:text=A%20maior%20octanagem%20da%20Gasolina,%2C%20consequentemente%2C%20ultrapassagens%20mais%20seguras>. Acesso em 01 de fevereiro de 2024.
- YANG, X. *et al.* Effect of swirler vane angle on the combustion characteristics of premixed lean hydrogen-air mixture in a swirl micro-combustor. **Chemical Engineering and Processing – Process Intensification**. v. 183, 2023.

VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.