

ENGENHARIA DO FUTURO

Tendências e Perspectivas

Resiane Silveira (Org.)

v5
2024

ENGENHARIA DO FUTURO

Tendências e Perspectivas

Resiane Silveira (Org.)

v5
2024

2024 – Editora Uniesmero

www.uniesmero.com.br

uniesmero@gmail.com

Organizadora

Resiane Paula da Silveira

Editor Chefe: Jader Luís da Silveira

Editoração e Arte: Resiane Paula da Silveira

Imagens, Arte e Capa: Freepik/Uniesmero

Revisão: Respectivos autores dos artigos

Conselho Editorial

Ma. Tatiany Michelle Gonçalves da Silva, Secretaria de Estado do Distrito Federal, SEE-DF

Me. Elaine Freitas Fernandes, Universidade Estácio de Sá, UNESA

Me. Laurinaldo Félix Nascimento, Universidade Estácio de Sá, UNESA

Ma. Jaciara Pinheiro de Souza, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Dra. Náyra de Oliveira Frederico Pinto, Universidade Federal do Ceará, UFC

Ma. Emile Ivana Fernandes Santos Costa, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Me. Rudvan Cicotti Alves de Jesus, Universidade Federal de Sergipe, UFS

Me. Heder Junior dos Santos, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP

Ma. Dayane Cristina Guarnieri, Universidade Estadual de Londrina, UEL

Me. Dirceu Manoel de Almeida Junior, Universidade de Brasília, UnB

Ma. Cinara Rejane Viana Oliveira, Universidade do Estado da Bahia, UNEB

Esp. Jader Luís da Silveira, Grupo MultiAtual Educacional

Esp. Resiane Paula da Silveira, Secretaria Municipal de Educação de Formiga, SMEF

Sr. Victor Matheus Marinho Dutra, Universidade do Estado do Pará, UEPA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S587e Silveira, Resiane Paula da
Engenharia do Futuro: Tendências e Perspectivas - Volume 5 /
Resiane Paula da Silveira (organizadora). – Formiga (MG): Editora
Uniesmero, 2024. 88 p. : il.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5492-053-7
DOI: 10.5281/zenodo.10685697

1. Engenharia. 2. Tecnologias. 3. Máquinas e construção. I.
Silveira, Resiane Paula da. II. Título.

CDD: 620
CDU: 62

Os artigos, seus conteúdos, textos e contextos que participam da presente obra apresentam responsabilidade de seus autores.

Downloads podem ser feitos com créditos aos autores. São proibidas as modificações e os fins comerciais.

Proibido plágio e todas as formas de cópias.

Editora Uniesmero
CNPJ: 35.335.163/0001-00
Telefone: +55 (37) 99855-6001
www.uniesmero.com.br
uniesmero@gmail.com
Formiga - MG
Catálogo Geral: <https://editoras.grupomultiatual.com.br/>

Acesse a obra originalmente publicada em:
<https://www.uniesmero.com.br/2024/02/engenharia-do-futuro-tendencias-e.html>



AUTORES

**ANA CAROLINE PEREIRA NOLASCO
BRUNO BERTOLO CAETANO
DANIEL TAIT VARESCHINI
DANIELLY CRUZ CAMPOS MARTINS
DAVI FRANÇA CARNEIRO
DAVID LOHAN PEREIRA DE SOUSA
EULEY JOHAN DA SILVA DANTAS
IAGO INTERAMINENSE GOMES
JEAN CARLOS DE ALMEIDA
JOÃO FELIPE FERREIRA TEIXEIRA
LARISSA DOS SANTOS BORGES
LUCAS RAFAEL ZANUTTO ZACARIAS
LUIZ CLAUDIO FIALHO ANDRADE
MARCELINO LUIZ GIMENES
MAURÍCIO BARROS OTTONI
NATHALLY MAYUMI IMAMURA
NELSON GUTEMBERG ROCHA DA SILVA
PAULA POLASTRI
VANESSA OLIVEIRA DA SILVA
WARDLEISON MARTINS MOREIRA**

APRESENTAÇÃO

O compêndio científico "Engenharia do Futuro: Tendências e Perspectivas" surge como um farol, iluminando os caminhos do conhecimento e da inovação no vasto campo da engenharia. Em um mundo caracterizado por mudanças aceleradas, é imperativo compreender as trajetórias e os contornos que delineiam o futuro da engenharia, uma disciplina que desempenha papel central na construção da sociedade contemporânea.

O presente volume reflete a dedicação e a perícia de uma coletânea de pesquisadores, cujas contribuições convergem para oferecer uma visão abrangente e aprofundada das tendências que moldarão o cenário da engenharia nos próximos anos. Cada capítulo é uma janela para as fronteiras do conhecimento, revelando as inovações tecnológicas, os desafios emergentes e as soluções que estão transformando a engenharia em uma força propulsora do progresso.

A diversidade temática abordada nesta obra reflete a natureza interdisciplinar da engenharia contemporânea, indo desde avanços na inteligência artificial e computação quântica até as aplicações práticas da engenharia biomédica e sustentabilidade ambiental. O leitor será guiado por um percurso que abraça a complexidade e a interconectividade desses tópicos, promovendo uma compreensão holística das dinâmicas que impulsionam a evolução da engenharia.

Cada capítulo não apenas explora as tendências atuais, mas também lança olhares críticos para o futuro, antecipando os desafios éticos, sociais e ambientais que a engenharia enfrentará. Ao fazer isso, este volume aspira a ser mais do que um mero registro do estado atual da engenharia; é uma antecipação perspicaz do que está por vir.

Ao imergir nesta obra, os leitores são convidados a se tornarem co-participantes de uma jornada intelectual que transcende fronteiras acadêmicas e profissionais. Este livro é um convite à reflexão, à discussão e, acima de tudo, à inspiração para os engenheiros do presente e do futuro. Que esta obra contribua significativamente para o avanço do conhecimento e para o fortalecimento dos alicerces que sustentam a engenharia como um catalisador primordial do progresso humano.

SUMÁRIO

Capítulo 1 CONTAMINANTES EMERGENTES E FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COMO ALTERNATIVA DE REMEDIAÇÃO AMBIENTAL – UMA REVISÃO <i>Lucas Rafael Zanutto Zacarias; Nathally Mayumi Imamura; Marcelino Luiz Gimenes; Danielly Cruz Campos Martins</i>	8
Capítulo 2 UM MODELO HÍBRIDO DE GESTÃO DE REQUISITOS PARA DESENVOLVIMENTO E AQUISIÇÃO DE SOFTWARES NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA <i>Davi França Carneiro; Nelson Gutemberg Rocha da Silva; Maurício Barros Ottoni; Iago Interaminense Gomes</i>	23
Capítulo 3 AVALIAÇÃO E ACLIMATAÇÃO DE FONTES DE INÓCULO PARA APLICAÇÃO EM ENSAIOS DE POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO <i>Paula Polastri; Bruno Bertolo Caetano; Danielly Cruz Campos Martins; Wardleison Martins Moreira; Daniel Tait Vareschini; Marcelino Luiz Gimenes</i>	37
Capítulo 4 CONFORTO TÉRMICO DE CASAS DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA UTILIZANDO DADOS CLIMÁTICOS DE BELÉM-PA <i>Euley Johan da Silva Dantas; Jean Carlos de Almeida; David Lohan Pereira de Sousa; João Felipe Ferreira Teixeira; Larissa dos Santos Borges; Luiz Claudio Fialho Andrade</i>	52
Capítulo 5 ANÁLISE DA VIABILIDADE DO MÉTODO DA MATURIDADE ATRAVÉS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DO CONCRETO <i>Vanessa Oliveira da Silva; Ana Caroline Pereira Nolasco</i>	77
AUTORES	85



Capítulo 1
CONTAMINANTES EMERGENTES E
FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COMO
ALTERNATIVA DE REMEDIAÇÃO AMBIENTAL
– UMA REVISÃO

Lucas Rafael Zanutto Zacarias
Nathally Mayumi Imamura
Marcelino Luiz Gimenes
Danielly Cruz Campos Martins

CONTAMINANTES EMERGENTES E FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA COMO ALTERNATIVA DE REMEDIAÇÃO AMBIENTAL – UMA REVISÃO

Lucas Rafael Zanutto Zacarias

Graduando em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, Ensino médio completo, lucasrzzacarias@gmail.com

Nathally Mayumi Imamura

Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, Ensino médio completo, nathallyimamura@gmail.com

Marcelino Luiz Gimenes

Docente do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá, Doutor em Engenharia Química, mlgimenes@uem.br

Danielly Cruz Campos Martins

Docente do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá, Doutora em Engenharia Química, dccmartins2@uem.br

RESUMO

Os contaminantes emergentes (CE) são compostos não reconhecidos legalmente que podem provocar impactos negativos à saúde ambiental e humana. Estes são ineficientemente removidos de matrizes aquosas por tratamentos convencionais, sendo necessária a aplicação de tratamentos avançados para sua remoção. Com o objetivo de contribuir com os estudos que estão sendo realizados sobre a temática, o presente capítulo apresenta uma revisão sobre essas substâncias, assim como algumas tecnologias que vem sendo utilizadas para o seu tratamento. Processos adsortivos, processos de filtração por membranas e processos oxidativos avançados (POAs) se destacam como tecnologias. Os POAs se caracterizam pela formação de radicais hidroxil que são altamente oxidantes e não seletivos, que promovem sucessivas reações oxidativas de compostos orgânicos até sua mineralização (transformação em CO₂ e H₂O) total ou parcial.

Dentre os POAs, a fotocatalise heterogênea, em especial utilizando dióxido de titânio (TiO₂), se destaca, visto não gera poluentes secundários, além de apresentar a vantagem de poder ser conduzida em temperatura e pressão ambiente, sendo uma boa alternativa tecnológica a remediação ambiental dos CE. Considerando a relevância ambiental, para a saúde humana e das pesquisas sobre contaminantes emergentes e suas tecnologias de remediação, este capítulo cumpre com seu objetivo ao ampliar e enriquecer os estudos já em andamento sobre essa temática.

Palavras-chave: Poluição ambiental. Impactos ambientais. Tratamento de água e efluente. Tecnologias de tratamento. Fotocatalise heterogênea.

ABSTRACT

Emerging contaminants (ECs) are legally unrecognized compounds that can cause negative impacts on environmental and human health. They are inefficiently removed from aqueous matrices by conventional treatments, requiring the application of advanced treatments for their removal. In order to contribute to the studies being carried out on this subject, this chapter presents a review of these substances, as well as some of the technologies that have been used to treat them. Adsorptive processes, membrane filtration processes and advanced oxidative processes (AOPs) stand out as technologies. AOPs are characterized by the formation of hydroxyl radicals, which are highly oxidizing and non-selective, promoting successive oxidative reactions of organic compounds until their total or partial mineralization (transformation into CO₂ and H₂O). Among the AOPs, heterogeneous photocatalysis, especially using titanium dioxide (TiO₂), stands out as it does not generate secondary pollutants and has the advantage of being able to be carried out at room temperature and pressure, making it a good technological alternative for the environmental remediation of ECs. Considering the environmental and human health relevance of research into emerging contaminants and their remediation technologies, this chapter fulfills its objective by expanding and enriching the studies already underway on this subject.

Keywords: Environmental pollution. Environmental impacts. Water and wastewater treatment. Treatment technologies. Heterogeneous photocatalysis.

INTRODUÇÃO

A rápida urbanização e a industrialização têm causado inúmeros problemas ambientais, dos quais se destaca a poluição hídrica por contaminantes emergentes (CE) (DONG *et al.*, 2018; ZHOU *et al.*, 2019). Esse problema afeta negativamente o crescimento econômico e a saúde de bilhões de pessoas (SOMSESTA *et al.*, 2020),

causando diversas doenças e até a morte (DI BERNARDO *et al.*, 2010; FALCONER, 2006).

Dentre os possíveis tratamentos para a remoção dos CE da água, a fotocatalise heterogênea desponta como interessante alternativa, tendo sido um grande campo de interesse para a academia, com um crescente número de estudos sobre o processo e suas possíveis aplicações (CATES, 2017), devido ao fato deste ser um processo que leva à mineralização de contaminantes em água, gás carbônico e íons inorgânicos (ANDREOZZI *et al.*, 1999), além de não gerar poluentes secundários e poder ocorrer em temperatura e pressão ambientes (HUNGE; YADAV, 2018).

Tendo isso em vista, o presente capítulo de revisão tem como objetivo apresentar um panorama dos contaminantes emergentes e as técnicas utilizadas para o tratamento dos mesmos, em especial a fotocatalise heterogênea, e abordar alguns estudos referentes ao processo fotocatalítico na remediação dos CE.

CONTAMINANTES EMERGENTES

Também chamados de poluentes emergentes, os contaminantes emergentes (CE) tratam-se de produtos químicos sintéticos ou de ocorrência natural ou quaisquer microrganismos que não são comumente monitorados, mas que possuem o potencial de entrar no ambiente e causar efeitos ecológicos adversos e/ou à saúde humana (ROSENFELD; FENG, 2011). Desta forma, a expressão “contaminantes emergentes” recebe essa classificação por ainda não serem legislados, mesmo sendo potencialmente nocivos à saúde humana.

Estes embora sejam micropoluentes, comumente presentes em águas em baixas concentrações, variando de ng L^{-1} a $\mu\text{g L}^{-1}$, são muitas vezes considerados potencialmente tóxicos e não são removidos ou eliminados por completo pelos processos tradicionais de tratamento de água para consumo humano (TORDIN, 2018).

Eles são detectados no solo, água e ar. Podem ser de origem antrópica, estando presentes em efluentes domésticos, industriais e hospitalares, assim como podem ser provenientes de atividades agrícolas e de pecuária. Podem, também, ser de origem natural, como é o caso das citoxinas (LUO *et al.*, 2014; PAL *et al.*, 2014).

Diversas substâncias têm sido consideradas poluentes emergentes, como: fármacos, compostos usados em produtos de higiene pessoal, protetor solares,

corantes, hormônios, alquifenóis e seus derivados, drogas ilícitas, sucralose e outros adoçantes artificiais, pesticidas, subprodutos provenientes de processos de desinfecção de águas, retardantes de chama bromados, compostos perfluorados, siloxanos, benzotriazóis, ácidos naftênicos, percloratos, dioxinas, nanomateriais, líquidos iônicos e microplásticos (RICHARDSON; KIMURA, 2016). No Quadro 1 estão apresentados alguns contaminantes emergentes mais encontrados em ambientes aquáticos, juntamente com suas subclasses e fontes.

Quadro 1 – Micropoluentes orgânicos com suas subclasses e fontes.

Categoria	Subclasse	Fonte
Fármacos	Drogas (anti-inflamatórios, anticonvulsivos, antibióticos, estimulantes, analgésicos e outros)	Esgotos domésticos, efluentes de hospital, clínicas veterinárias, escoamento CAC*, agricultura
Produtos de cuidado pessoal	Fragrâncias, desinfetantes, filtros solares, repelentes de insetos e outros	Esgoto doméstico
Hormônios esteroides	Estrogênios	Esgoto doméstico, escoamento CAC*
Surfactantes	Surfactantes não iônicos	Esgoto doméstico, efluente industrial
Químicos industriais	Retardantes de chama	Esgoto doméstico, efluentes industriais

*CAC: Criadouros de animais confinados.

Fonte: Adaptado de Luo *et al.* (2014).

Os CE podem apresentar riscos ao ecossistema, alterando a qualidade da água e do solo, comprometendo a fauna e a flora, e, por serem introduzidos no ambiente em larga escala, causam impactos negativos à saúde ambiental por um longo período de tempo.

Estudos realizados pelo Instituto de Química da Unicamp (ALVES FILHO, 2015), comprovam que esses compostos estão causando danos à fauna aquática, como na feminização de peixes, alteração no desenvolvimento de moluscos e anfíbios e decréscimo de fertilidade de aves.

As propriedades físicas e químicas dos poluentes emergentes podem ainda ser prejudiciais à saúde humana. Um exemplo são as hepatotoxinas, que quando dissolvidas em água não são eliminadas no tratamento de água do tipo convencional, sendo necessário um tratamento avançado para sua remoção, podendo causar

intoxicações em seres humanos, hemorragia hepática, necrose do fígado e até a morte (DI BERNARDO *et al.*, 2010; FALCONER, 2006).

Contaminantes emergentes no Brasil

Montagner *et al.* (2017) em seu trabalho apresentou uma visão geográfica sobre o cenário dos contaminantes emergentes no Brasil, com base trabalhos realizados e publicados, identificando as matrizes aquosas estudadas.

A região sudeste apresentou mais trabalhos publicados (62%), onde foram estudadas a presença de pelo menos uma classe de contaminantes emergentes nas matrizes aquáticas: esgoto, água superficial, água subterrânea e água tratada, e em seguida a região sul (16%). Pode-se observar que por possuírem maior índice de industrialização, conseqüentemente, é onde está o maior foco das pesquisas, pois é um cenário mais preocupante para a saúde dos corpos hídricos receptores e por conseguinte, o que necessita de maior investimento de pesquisa de medidas efetivas de tratamento dos CE.

Em seguida, a região centro oeste apresenta 13% das pesquisas, onde o agronegócio é predominante, apresentando mais trabalhos sobre pesticidas. Por fim, o nordeste e o norte, com 7% e 2% respectivamente.

A água superficial foi a matriz energética mais estudada, presente em todas as regiões. No sul e sudoeste pesquisas foram realizadas em esgoto, água tratada, superficial e subterrânea. No nordeste apenas não apresentou estudos na água subterrânea, no entanto, a região norte apenas teve trabalhos publicados em água superficial. No centro-oeste se destaca publicações de contaminantes emergentes em água superficial e subterrânea.

De acordo com Montagner *et al.* (2017), as classes de contaminantes emergentes determinadas nas diferentes matrizes aquáticas brasileiras são: os fármacos, sendo a segunda mais estudada no Brasil e com uma maior preocupação nos de origem hormonal, psicoterápicos e antimicrobianos; a cafeína (de origem antrópica e encontrada em altas concentrações no esgoto); produtos de higiene pessoal (cosméticos, fragrâncias, compostos antimicrobianos, antioxidantes e cremes preservativos, inseticidas repelentes e protetores solares); drogas ilícitas ou drogas de abuso (sendo a cannabis e a cocaína as mais consumidas entre os usuários brasileiros); compostos de uso industrial (como o bisfenol A, alquilfenóis, bifenilas

policloradas, ftalatos, compostos perfluorados e retardantes de chama bromados); e por fim, os pesticidas, que são a classe mais estudada no país e um dos principais desafios devido o Brasil ser o maior consumidor do mundo.

TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA O TRATAMENTO DE CONTAMINANTES EMERGENTES

Os métodos de tratamento de água convencionais não são eficientes para contaminantes emergentes, necessitando novas tecnologias avançadas para remoção dos microcontaminantes. Dentre elas, destacam-se: carvão ativado pulverizado (CAP), carvão ativado granular (CAG), membranas filtrantes e processos oxidativos avançados (POAs).

O tratamento com carvão ativado ocorre com a adsorção dos contaminantes, onde as forças de atração molecular entre o soluto e o adsorvente são maiores que as forças de atração entre o soluto e o solvente, adsorvendo o soluto pela superfície do carvão através de forças de van der Waals (BRADY, 1990).

Uma vantagem do emprego de carvão ativado para o tratamento é o seu fornecimento contínuo, podendo ser utilizado sazonalmente quando há risco de contaminantes estarem presentes em concentrações elevadas. Além disso, o carvão ativado pode ser de baixo custo e possuir poder de fácil regeneração. No entanto, a sua utilização para a remediação dos contaminantes emergentes gera poluentes secundários, cujo o tratamento encarece o processo.

O CAP tem sido a abordagem mais adotada entre elas, pois permite uma velocidade de adsorção mais rápida que a de CAG, devido a sua granulometria.

Guerra *et al.* (2015) avaliaram em escala de bancada a remoção do contaminante microcistina-LR em água natural por adsorção em colunas de carvão ativado granular de casca de coco, seguido pelas etapas de clarificação e filtração em areia. O experimento mostrou que o CAG removeu entre 80 a 100%, se destacando o carvão com menor granulometria, a penetrabilidade no carvão de maior granulometria ocorreu em duas horas com menor massa adsorvida por unidade de massa de carvão, enquanto o menor em muito mais tempo de contato e com maior remoção da toxina.

O tratamento por membranas, por sua vez, pode ocorrer com membranas de microfiltração (MF), nanofiltração (NF), ultrafiltração (UF) e osmose reversa (OR), se

diferenciando pelo grau de filtração e aplicação. Entre as membranas filtrantes, a repulsão de cargas, a exclusão por tamanho e a adsorção são os principais processos. Suas principais vantagens são: economia de energia de equipamentos e facilidade na operação.

Estudos realizados por Rozenbaoum (2020) comprovam a eliminação de contaminantes emergentes por membrana de osmose reversa de película fina, pelo uso de nano compostos da marca LGChem em ambientes variados. Foi apresentado cerca de 95% de remoção do contaminante.

A filtração por membrana, assim como o tratamento com carvão ativado, é uma tecnologia promissora, porém, ela apresenta um elevado custo, dificultando sua implantação no Brasil, além de também gerar poluentes secundários.

Os processos oxidativos avançados se apresentam como uma excelente alternativa, pois são capazes de mineralizar o contaminante sem gerar subprodutos. Entre os POAs a fotocatalise se destaca para aplicações práticas em campos, já que não gera poluentes secundários como as outras tecnologias utilizadas para tratamento de contaminantes emergentes citadas, além de ocorrer à temperatura e pressão ambiente (NIDHEESH *et al.*, 2018).

Fotocatalise heterogênea

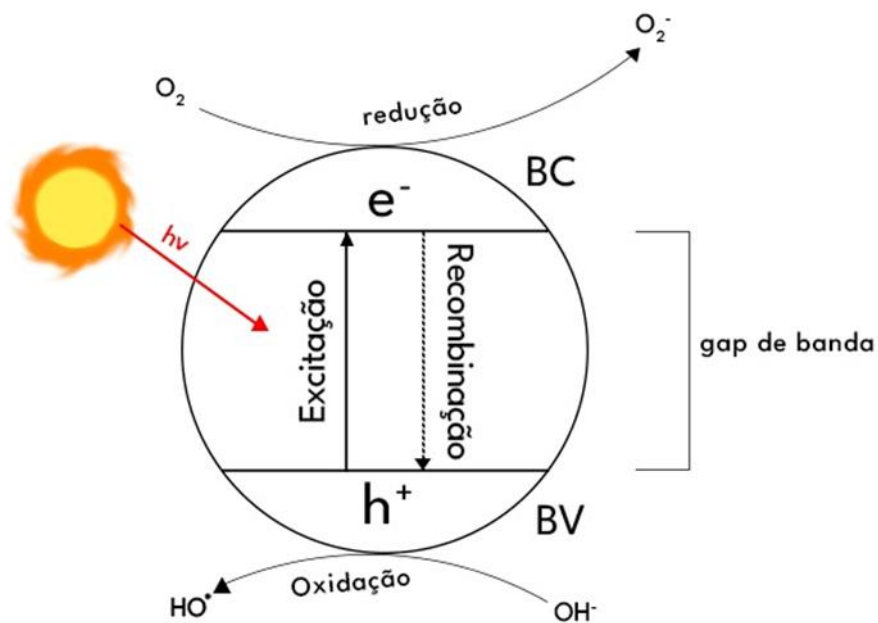
O fenômeno da fotocatalise foi descoberto por Fujishima e Honda (1972), que realizaram a decomposição da água em oxigênio e hidrogênio utilizando elétrodos de dióxido de titânio (TiO_2) e platina através da energia da luz visível. Segundo Linsebigler *et al.* (1995), essa descoberta levou químicos, físicos e engenheiros químicos a procurarem compreender os processos fundamentais e aumentar a eficiência fotocatalítica do TiO_2 , devido à possível aplicação de fotocatalisadores baseados no TiO_2 para a mineralização de poluentes e compostos orgânicos.

O processo da fotocatalise heterogênea tem seu início com o transporte dos contaminantes para a superfície do catalisador (ANWER *et al.*, 2019), e ele ocorre por transformações ou reações moleculares fotoinduzidas nessa superfície. Os semicondutores de óxidos metálicos, tais como o TiO_2 , ZnO , SrTiO_3 , WO_3 , Fe_2O_3 , dentre outros, são comumente utilizados como catalisadores por conta de suas estruturas eletrônicas, que possuem uma banda de valência (BV) preenchida e uma banda de condução (BC) vazia, com uma região destituída de níveis de energia,

chamada de *gap* da banda (E_g) (MILLS *et al.*, 1993). Por conta disso, os semicondutores de óxidos metálicos são altamente ativos, e, além disso, são estáveis, eficientes, *eco-friendly* e de baixo custo, o que torna seu uso altamente reprodutível (JIAO *et al.*, 2019). Quando se incide luz sobre o material semiconductor, e um fóton possui energia $h\nu$ maior ou igual à energia do *gap* da banda do semiconductor, um elétron e_{bc}^- é promovido da BV para a BC, deixando uma lacuna h_{bv}^+ , formando um par elétron-lacuna (LINSEBIGLER *et al.*, 1995).

Os elétrons e_{bc}^- na superfície do semiconductor podem reduzir espécies químicas, chamadas aceptoras de elétrons (normalmente o oxigênio, quando utilizadas soluções aeradas). Já as lacunas h_{bv}^+ podem migrar para a superfície e se combinar com o elétron de uma espécie doadora, realizando a sua oxidação (LINSEBIGLER *et al.*, 1995) como ilustrado na Figura 1.

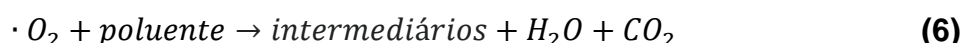
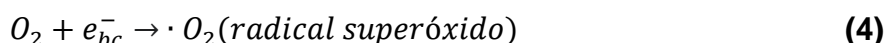
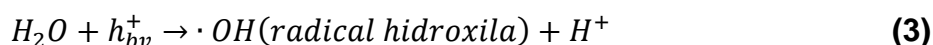
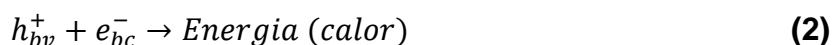
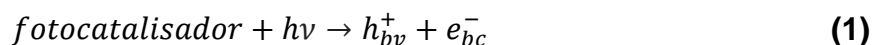
Figura 1 - Esquema ilustrativo da fotocatalise heterogênea.



Fonte: autores (2023).

Entretanto, na ausência de espécies doadoras e aceptoras de elétrons, ocorre a recombinação dos elétrons e_{bc}^- e das lacunas h_{bv}^+ , liberando calor. Assim, para um fotocatalisador ser eficiente, é necessário que as reações dos e_{bc}^- e h_{bv}^+ com as espécies adsorvidas compita de forma eficaz com a desativação majoritária causada pela recombinação dos elétrons e das lacunas (BILA *et al.*, 2008; LINSEBIGLER *et al.*, 1995; MILLS *et al.*, 1993).

De acordo com ANWER *et al.* (2019), as reações que descrevem a fotocatalise de poluentes podem ser resumidas nas seguintes:



Todos os processos oxidativos avançados (POAs) têm como base a alta reatividade dos radicais hidroxila em processos oxidativos, levando à mineralização completa dos poluentes em água, gás carbônico e íons inorgânicos (ANDREOZZI, 1999). Esses radicais destroem as moléculas orgânicas presentes em corpos aquáticos através de reações de oxidação que são de 1 milhão a 1 bilhão de vezes mais rápidas do que com outros oxidantes químicos comumente utilizados. Portanto, a eficiência da fotocatalise para remover contaminantes emergentes está em sua capacidade de gerar esses radicais (BILA *et al.*, 2008). Além disso, a fotocatalise heterogênea não gera poluentes secundários, e ocorre à temperatura e pressão ambientes, o que a torna adequada para aplicações em campo (HUNGE; YADAV, 2018).

Aplicações da fotocatalise heterogênea na remediação de CE

Zhang *et al.* (2009) produziram nanocompósitos de TiO₂-grafeno a partir de uma reação hidrotermal de única etapa, de modo que as partículas de TiO₂ ficaram carregadas em uma nanofolha de grafeno. Ao usarem este material como semicondutor na reação de fotocatalise do azul de metileno (AM), observaram, com relação ao TiO₂ puro, três coisas: (1) um aumento da adsorção catalítica do corante, por conta das ligações π-π entre o AM e o grafeno; (2) maior absorção da luz, pela transparência do grafeno causar um *red-shift* no intervalo sensível à luz; e (3) maior supressão da recombinação de cargas, pois o grafeno pode atuar como um aceptor dos elétrons gerados pela fotoexcitação do TiO₂, além de aumentar a velocidade do transporte das cargas, por conta de sua alta condutividade, evitando a recombinação

dos pares elétron-lacuna. Eles mediram a atividade fotocatalítica do TiO_2 e do TiO_2 -grafeno sob luz ultravioleta (UV) e sob luz visível, colocando-os em solução de AM. Após pouco menos de 1h sob a luz UV, por volta de 85% do corante havia se degradado na solução com o TiO_2 -grafeno, contra apenas aproximadamente 25% de degradação no TiO_2 puro. Já sob a luz visível, o TiO_2 -grafeno decompôs por volta de 65% do corante em pouco mais de 1h, contra apenas 12% decomposto pelo TiO_2 puro. Assim, os autores concluem indicando que os compostos de TiO_2 -grafeno são promissores para serem aplicados no combate de vários problemas ambientais.

Jimenez-Tototzintle *et al.* (2018) pesquisaram sobre a aplicação de TiO_2 , TiO_2 -imobilizado e TiO_2 -imobilizado/ H_2O_2 , todos sob luz UVA, como fotocatalisadores na eliminação de uma mistura de contaminantes emergentes, a saber, acetamiprida (ACP), imazalil (IMZ) e bisfenol A (BPA) e na inativação de bactérias resistentes a mercúrio, as *Pseudomonas aeruginosa* e *Bacillus subtilis*. Foi constatado que a utilização de TiO_2 -imobilizado/UVA/ H_2O_2 ocasionou o processo de fotocatalise mais eficiente, eliminado 85% do BPA, 20% do IMZ e >5% do ACP após 300 minutos, além de inativar as bactérias *P. aeruginosa* após 120 minutos. As bactérias *B. subtilis* não foram inativadas, pois desenvolveram mecanismos para evitar o processo de oxidação.

Abreu *et al.* (2021) usaram o óxido de nióbio(V) (Nb_2O_5) calcinado em diferentes temperaturas entre 373-873 K como fotocatalisador, sob luz UV, na degradação de quatro contaminantes: ácido acetilsalicílico (ASA), 17α -etinilestradiol (EE2), ibuprofeno (IBP) e paracetamol (PAR). O Nb_2O_5 não calcinado obteve melhores resultados na degradação desses contaminantes do que os calcinados, removendo no teste de competição dos contaminantes, 68% do IBP, 48% do ASA, 36% do PAR e 38% do EE2. Esses últimos dois contaminantes foram menos removidos no teste de competição do que quando testados isoladamente, quando suas porcentagens de remoção foram, respectivamente, 47% e 85%. Além disso, dentre os fotocatalisadores calcinados, conforme foi aumentada a temperatura de calcinação, diminuiu-se a eficiência.

Ramasamy *et al.* (2023) estudaram o potencial fotocatalítico de nanocompósitos de Fe- TiO_2 e Ag-ZnO sob a luz visível, considerando a decomposição de contaminantes farmacêuticos, a saber, o atenolol (ATL) e o acetaminofeno (ACT) na água de esgoto tratada. O processo foi feito em um fotorreator de batelada, sob luz de 650 nm, estudando quatro fatores experimentais: o pH inicial da solução, as

concentrações iniciais dos contaminantes, a concentração do fotocatalisador e o tempo de reação. Tanto o Fe-TiO₂ quanto o Ag-ZnO tiveram bons resultados na decomposição dos contaminantes, removendo mais de 63% do ATL e mais de 85% do ACT, tendo o Fe-TiO₂ uma melhor eficiência (22% mais eficiente que o Ag-ZnO na remoção do ATL e 6% mais eficiente na do ACT). As melhores condições experimentais foram em pH neutro a levemente básico (7,0-8,0), concentração de contaminantes 5 mg/L, concentração de catalisador 1055 mg/L e tempo de reação de 98 min. Além disso, os experimentos indicaram que mais de 50% desses contaminantes podem ser mineralizados utilizando estes fotocatalisadores, o que demonstra que ambos podem ter uma eficiente aplicação prática sob a luz visível na remoção de contaminantes farmacêuticos da água tratada.

Liu *et al.* (2023) utilizaram um sistema conjunto de biodegradação e fotocátalise na degradação de sulfametoxazol (SMX), um antibiótico frequentemente encontrado em águas de esgoto municipais, que não é removido por tratamentos convencionais da água. O sistema utilizado consistia de um fotocatalisador de nitreto de carbono grafítico dopado com íons Fe³⁺ e portadores de biofilme, sob luz visível. Após 12 h do tratamento da água com SMX pelo sistema conjunto da fotocátalise com os portadores de biofilme, 81,2 ± 2,1% do SMX foi degradado, contra apenas 23,7 ± 4,0% do SMX degradado no mesmo período quando utilizado apenas os portadores de biofilme, o que demonstra a importância da fotocátalise na remoção desse contaminante, que ocorre através da produção radicais hidroxila e superóxido. Além disso, os microrganismos da água se adaptaram bem ao sistema, de modo que ele preserva a microbiota, o que, em conjunto com a eficiência do processo, indica o grande potencial do uso desse sistema para remover antibióticos da água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preocupação com os contaminantes emergentes está cada vez mais crescente, visto que as consequências para a saúde ambiental e humana ainda não são claramente compreendidas e provavelmente só serão após um grande período de tempo. Os CE, tanto por ainda não serem legislados e quanto pelo tratamento de água convencional não ser efetivo, necessitam de tecnologias avançadas para a sua remediação.

Nesse capítulo foram citadas técnicas amplamente utilizadas, como: carvão ativado, membranas filtrantes e processos oxidativos avançados. Destaca-se nesse último a fotocatalise heterogênea, pois comparada com os outros processos, ela é a única que não gera poluentes secundários e além disso possui a vantagem de ocorrer à temperatura e pressão ambiente.

Visto que pesquisas relacionadas a contaminantes emergentes são de extrema importância ambiental e para saúde humana, o presente trabalho atingiu o objetivo de ampliar e contribuir com os estudos que estão sendo realizados sobre a temática.

REFERÊNCIAS

ABREU, E. *et al.* Degradation of emerging contaminants: Effect of thermal treatment on Nb₂O₅ as photocatalyst. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 419, artigo 113484, 2021.

ALVES FILHO, M. O perigo dos emergentes. *Jornal da Unicamp*, Campinas, Maio 2015. Disponível em: https://www.unicamp.br/unicamp/sites/default/files/jornal/paginas/ju_623_paginacor_06e07_web.pdf. Acesso em: 16 maio 2023.

ANDREOZZI, R.; CAPRIO, V.; INSOLA, A.; MAROTTA, R. Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. **Catalysis Today**, v. 53, p. 51-59, 1999.

ANWER, H. *et al.* Photocatalysts for degradation of dyes in industrial effluents: Opportunities and challenges. **Nano Research**, v. 12, n. 5, p. 955-972, mai. 2019.

BILA, D. M.; AZEVEDO, E. B.; DEZOTTI, M. Ozonização e Processos Oxidativos Avançados. *In*: DEZOTTI, M. (Coord.). **Processos e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008. p. 243-309.

BRADY, R.D. Activated carbon processes. *In*: **Water treatment plant design AWWA & ASCE**. California: ASCE, p. 14.1-14.38, 1990.

CATES, E. L. Photocatalytic Water Treatment: So Where Are We Going with This?. **Environmental Science & Technology**, v. 51, p. 757-758, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06035>. Acesso em: 18 mai. 2023.

DI BERNARDO, L.; MINILLO, A.; DANTAS, A.D.B. **Florações de algas e cianobactérias: suas influências na qualidade da água e nas tecnologias de tratamento**, São Carlos: LDIBE, 2010.

DONG, W. *et al.* Review: Micro-organic contaminants in groundwater in China. **Hydrogeology Journal**, v. 26, n. 5, p. 1351-1368, ago. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10040-018-1760-z>. Acesso em: 17 mai. 2023.

FALCONER, I.R. Humpage. Cyanobacterial (blue-greenalgal) toxins in water supplies: *Cylindrospermopsis*. **Environmental Toxicology** 21. 2006.

GUERRA, A.B; TONUCCI, M.C; CEBALLOS, B.S.O; GUIMARÃES, H.R.C; LOPES, W.S; 'AQUINO,S.F. Remoção de microcistina-LR de águas eutrofizadas por clarificação e filtração seguidas de adsorção em carvão ativado granular. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v20, p. 603-612, 2015.

HUNGE Y. J.; YADAV A. A. Basics and advanced developments in photocatalysis - a review (Mini review). **International Journal of Hydrology**, v. 2, n. 4, p. 539-540, 2018. Disponível em: 10.15406/ijh.2018.02.00122. Acesso em: 15 mai. 2023.

JIAO, S. *et al.* Recyclable adsorbent of BiFeO₃/Carbon for purifying industrial dye wastewater via photocatalytic reproducible. **Green Energy & Environment**, v. 4, n. 1, p. 66-74, jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gee.2018.05.001>. Acesso em: 15 mai. 2023.

JIMÉNEZ-TOTOTZINTLE, M. *et al.* Removal of contaminants of emerging concern (CECs) and antibiotic resistant bacteria in urban wastewater using UVA/TiO₂/H₂O₂ photocatalysis. **Chemosphere**, v. 210, p. 449-457, nov. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.036>. Acesso em: 17 mai. 2023.

LINSEBIGLER, A. L.; LU, G.; YATES, J. T. Jr. Photocatalysis on TiO₂ surfaces: principles, mechanisms, and selected results. **Chemical Reviews**, v. 95, p. 735–758, 1995. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/cr00035a013>. Acesso em: 15 mai. 2023.11.11

LIU, Q. *et al.* Fabrication of an intimately coupled photocatalysis and biofilm system for removing sulfamethoxazole from wastewater: Effectiveness, degradation pathway and microbial community analysis. **Chemosphere**, v. 328, jul. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138507>. Acesso em: 17 mai. 2023.

LUO, Y. Guo, H. NGO, H. HAI, I. Science of the Total Environment A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. **Science of the Total Environment**, v. 473-474, p. 619-641, 2014.

MILLS, A.; DAVIES, R. H.; WORSLEY, D. Water purification by semiconductor photocatalysis. **Chemical Society Reviews**, v. 22, p. 417-425, 1993.

MONTAGNER, C. C. *et al.* Contaminantes emergentes em matrizes aquáticas do Brasil: cenário atual e aspectos analíticos, ecotoxicológicos e regulatórios. **Química Nova**, v. 40, n. 9, p. 1094-1110, 2017.

NIDHEESH, P. V. *et al.* Na overview on the removal of synthetic dyes from water by electrochemical advanced oxidation processes. **Chemosphere**, v. 197, p. 210-227, 2018.

PAL, A.; HE, Y.; JEKEL, M.; REINHARD, M.; GIN, K. Y. Emerging contaminants of public health significance as water quality indicator compounds in the urban water cycle Untreated water Sewer system. **Environment International**, v. 71, p. 46–62, 2014.

PANDOLI, O. *et al.* Prototipagem de microrreatores fotocatalíticos e testes de fotodegradação de corantes orgânicos. **Química Nova**, v. 38, n. 6, p. 859-863, 2015.

RAMASAMY, B.; JEYANTHI, J.; CHINNAIYAN, P. Fe-TiO₂ and Ag-ZnO mediated visible light photocatalysis for atenolol and acetaminophen removal - A comparative study and modeling. **Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management**, v. 19, artigo 100779, 2023.

RICHARDSON, S. D.; KIMURA, S. Y. Water analysis: emerging contaminants and current issues. **Analytical Chemistry**, v. 88, n. 1, p. 546-582, 2016.

ROSENFELD, PAUL E.; FENG, LYDIA G. H. Emerging Contaminants. *In: Risks of hazardous wastes*. Elsevier, 2011. p. 215-222.

ROZENBAOUM, E. **Eliminação de contaminantes emergentes por membrana de osmose reversa de película fina pelo uso de nano compostos da marca LGChem**. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/eliminacao-contaminantes-emergentes-membrana-osmose-reversa/>. Acesso em: 17 maio 2023.

SOMSESTA, N.; SRICHAROENCHAikul, V.; AHT-ONG, D. Adsorption removal of methylene blue onto activated carbon/cellulose biocomposite films: Equilibrium and kinetic studies. **Materials Chemistry and Physics**, v. 240, artigo 122221, jan. 2020.

TORDIN, C. **Contaminantes emergentes podem ser uma ameaça na água para consumo humano**. Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/32796742/contaminantes-emergentes-podem-ser-uma-ameaca-na-agua-para-consumo-humano>. Acesso em: 16 maio 2023.

ZHANG, H. *et al.* P25-Graphene Composite as a high performance photocatalyst. **ACS Nano**, v. 4, n. 1, p. 380-386, 30 dev. 2009.

ZHOU, S. *et al.* Optimization of screening-level risk assessment and priority selection of emerging pollutants – The case of pharmaceuticals in European surface waters. **Environment International**, v. 128, p. 1-10, jul. 2019.



Capítulo 2
UM MODELO HÍBRIDO DE GESTÃO DE
REQUISITOS PARA DESENVOLVIMENTO E
AQUISIÇÃO DE SOFTWARES NA INDÚSTRIA
FARMACÊUTICA

Davi França Carneiro
Nelson Gutemberg Rocha da Silva
Maurício Barros Ottoni
Iago Interaminense Gomes

UM MODELO HÍBRIDO DE GESTÃO DE REQUISITOS PARA DESENVOLVIMENTO E AQUISIÇÃO DE SOFTWARES NA INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

Davi França Carneiro

Profissional graduado em Ciência da Computação pela UFPE e com MBA em Gestão de Projetos concluído pela UNINASSAU. Atualmente como Analista de TI na Hemobrás, atua como líder da equipe de Governança e Projetos em Tecnologia da Informação e Comunicação, exercendo um papel estratégico no gerenciamento de projetos tecnológicos. Além disso, é membro ativo da Equipe de Tratamento de Incidentes de Segurança da Informação. E-mail: davi.carneiro@hemobras.gov.br

Nelson Gutemberg Rocha da Silva

Profissional com mestrado em Ciência da Computação pelo Centro de Informática da UFPE. Atualmente, desempenha o papel de Analista de TI na Hemobrás (Empresa Brasileira de Hemoderivados e Biotecnologia), uma indústria pública federal. Dentro da Hemobrás, lidera a equipe responsável pela aquisição e desenvolvimento de sistemas, e faz parte da Equipe de Tratamento de Incidentes de Segurança da Informação. E-mail: nelson.silva@hemobras.gov.br

Maurício Barros Ottoni

Profissional Graduado em Ciências Computação e especialista em Informática em Saúde, com MBA em hospitais, clínicas e indústrias da saúde pela Fundação Getúlio Vargas (2021) de Brasília. Possui 20 anos de experiência no mercado de tecnologia, sendo 15 anos em projetos com foco na saúde pública e privada, com especialidades em gerenciamento de projetos baseados no PMbok e métodos ágeis, planejamento em saúde pública, instrumentos de planejamento, análise situacional de saúde, desenvolvimento e monitoramento de metas e indicadores. Atualmente atua como Gerente de Tecnologia da Informação e Comunicação na Hemobrás, responsável por gerir projetos e toda a equipe de TI. Além disto, atua no

planejamento e contratação dos contratos de tecnologia da empresa. E-mail: mauricio.ottoni@hemobras.gov.br

Iago Interaminense Gomes

Profissional com graduação em Engenharia da Computação pela Universidade Estadual de Pernambuco. Atualmente, ele ocupa a posição de Analista de TI na Hemobrás. Dentro da Hemobrás, desempenha um papel essencial como líder de projetos de implantação de sistemas. Além disso, ele é um membro ativo da Equipe de Tratamento de Incidentes de Segurança da Informação. E-mail: iago.gomes@hemobras.gov.br

RESUMO

As indústrias farmacêuticas estão sujeitas a regulamentações que prezam pelas boas práticas de fabricação (BPF). Nesse contexto, a área de tecnologia da informação deve viabilizar *softwares* capazes de atender às necessidades industriais seguindo as diretrizes técnicas preconizadas pela engenharia de *software* e pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária). O objetivo deste trabalho é, portanto, propor um modelo híbrido de gestão de requisitos, aplicando-se o *framework Scrum* para gestão ágil de projetos, no processo de desenvolvimento e aquisição de *softwares* para a indústria farmacêutica, fundindo etapas da engenharia de requisitos – como elicitação, análise e negociação, documentação, verificação e validação de requisitos – com a conformidade regulatória proposta na fase de conceito do ciclo de vida dos sistemas computadorizados da ANVISA, a fim de atender às boas práticas de fabricação. Diante desse cenário, a área de garantia da qualidade farmacêutica realiza qualificações que validam a conformidade do *software* com BPF, a partir da especificação dos requisitos do usuário (ERU). Por fim, um estudo de caso compara os resultados antes e após a aplicação do modelo proposto neste trabalho.

Palavras-chave: Engenharia de Requisitos. ERU. BPF. *Scrum*.

ABSTRACT

Pharmaceutical industries are subject to regulations that prioritize Good Manufacturing Practices (GMP). In this context, the Information Technology (IT) sector must enable software solutions capable of meeting industrial needs while adhering to the technical guidelines advocated by software engineering and the ANVISA (National Health Surveillance Agency). The objective of this work is, therefore, to propose a hybrid requirements management model, applying the Scrum framework for agile project management, in the process of developing and acquiring software for the pharmaceutical industry.

This model integrates stages of requirements engineering - such as elicitation, analysis and negotiation, documentation, verification, and validation of requirements - with the regulatory compliance proposed in the conceptual phase of ANVISA's lifecycle of computerized systems, aiming to comply with Good Manufacturing Practices. In this scenario, the pharmaceutical quality assurance department conducts qualifications that validate software compliance with GMP, based on user requirements specification (URS). Finally, a case study compares the results before and after the application of the proposed model in this work.

Keywords: Requirements Engineering. URS. GMP. Scrum.

INTRODUÇÃO

As empresas têm buscado investir no uso de sistemas computadorizados que deem suporte aos seus processos de negócio [1]. O uso desses sistemas pela indústria farmacêutica, a exemplo dos sistemas do tipo ERP, CRM, LIMS, WMS, é imprescindível para gerir seus processos produtivos e garantir a rastreabilidade e a segurança dos dados [2].

A ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) define o ciclo de vida dos sistemas computadorizados em quatro fases: conceito, projeto, operação e aposentadoria [4]. Este trabalho tem como foco a exploração da fase de conceito, trazendo melhorias para atender às exigências regulatórias, em conjunto com as fases da engenharia de requisitos, incluindo elicitação, análise e negociação, documentação, verificação e validação de requisitos. Essas etapas são aplicadas de maneira iterativa e incremental, isto é, no evento de verificação de cada sprint, conforme estrutura prevista pelo *framework Scrum* para desenvolvimento ágil de projetos [5], os requisitos devem ser reavaliados e se necessário ajustados, para garantir sua rastreabilidade em relação aos incrementos utilizáveis e o progresso em direção ao sistema final a ser entregue, reduzindo riscos.

A validação farmacêutica, visando BPF, possui quatro etapas de qualificação (QP: de projeto, QI: de instalação, QO: de operação, QD: de desempenho) [4].

As demais seções deste documento estão organizadas da seguinte forma: seção 2 descreve o referencial teórico para melhor compreensão do contexto; seção 3 detalha a gestão de requisitos, considerando o ciclo de vida dos sistemas computadorizados da ANVISA; seção 4 destaca o documento de especificação de

requisitos do usuário (ERU); seção 5 relata o processo de validação farmacêutica; seção 6 traz a nossa principal contribuição, com o modelo híbrido proposto; seção 7 traz um estudo de caso que evidencia o antes e o depois da aplicação do novo modelo híbrido, incluindo os resultados obtidos; por fim, a seção 8 descreve as conclusões deste trabalho.

REFERENCIAL TEÓRICO

O principal objetivo das indústrias farmacêuticas é produzir medicamentos, o que exige investimento em pesquisa para desenvolver, comercializar e distribuir os produtos [10].

No Brasil, tais indústrias surgiram de maneira atrelada ao Estado, que viabilizou a produção de soros, vacinas e medicamentos para suprir a saúde pública [10]. Nesse contexto, as indústrias farmacêuticas precisam garantir que o produto entregue ao consumidor final atenda às boas práticas de fabricação (BPF), prezando pela uniformização e reduzindo riscos de devoluções ou contaminações [11]. A ANVISA estabeleceu a RDC nº 658, de 30 de março de 2022, que descreve as diretrizes de BPF [3].

A engenharia de *software*, através de uma abordagem sistemática, disciplinada e quantificável, contribui em todas as fases do processo de desenvolvimento do *software*. A engenharia de requisitos apoia a engenharia de *software*, mantendo o escopo do produto de *software* dentro da qualidade esperada e com os requisitos necessários [12].

O *Scrum* apoia na geração de valor, com soluções adaptativas para problemas complexos. Ele é estruturado em equipe *Scrum* (Mestre *Scrum*, Proprietário do Produto, Desenvolvedores), artefatos *Scrum* (*Backlog* do Produto, *Backlog* da *Sprint*, Incremento Utilizável) e eventos *Scrum* (Refinamento do *Backlog* do Produto, Planejamento da *Sprint*, *Scrum* Diário, Revisão da *Sprint*, Retrospectiva da *Sprint*) [5]. Ao desenvolver *softwares* com essa metodologia, têm-se vários incrementos, em vez de um [6].

A ANVISA descreve o ciclo de vida dos sistemas computadorizados em quatro fases, evidenciadas na próxima seção deste artigo: conceito, projeto, operação, aposentadoria [4]. O *Scrum* se aplica, junto à engenharia de requisitos, na fase de conceito. Isso significa que, a cada *sprint* do projeto, isto é, cada um dos períodos

utilizados para a conclusão de uma parte do projeto desenvolvido, os requisitos do produto de *software* precisam ser reavaliados e ter suas mudanças formalizadas, com estudo de impacto realizado. O uso de um *framework* ágil ajuda no entendimento dos requisitos, sobretudo devido à melhoria na comunicação e ao envolvimento das partes interessadas [13].

A validação farmacêutica, detalhada na seção 5, é um processo de verificação para garantir o cumprimento dos requisitos regulatórios, incluindo qualificações de projeto (QP), de instalação (QI), operacional (QO) e de desempenho (QD) [4].

CICLO DE VIDA DOS SISTEMAS COMPUTADORIZADOS DA ANVISA E ETAPAS DA GESTÃO DE REQUISITOS

A ANVISA define o ciclo de vida dos sistemas computadorizados da seguinte forma [4]: i) **conceito**: os requisitos são desenvolvidos e potenciais soluções são discutidas; ii) **projeto**: ocorrem etapas de contratação, projeto, desenvolvimento, verificações, implantação e liberação do sistema para operação; iii) **operação**: durante essa fase, pessoas treinadas fazem o gerenciamento do sistema, que já está operando, e ocorrem manutenções no sistema, com gestão de mudanças; iv) **aposentadoria**: essa fase acontece quando o sistema em operação é descontinuado, sendo necessário adotar medidas para decidir sobre a destinação do sistema e dos dados.

Segundo [7], a qualidade do *software* não deve estar apenas no *software*, mas também no seu processo de criação. Um *software* que não atende às necessidades do cliente encontra, nesse momento, os principais pontos de falha [9].

É na fase de conceito da ANVISA que o novo modelo híbrido apresentado na seção 6 deste trabalho é aplicado, sendo adotadas as seguintes fases da engenharia de requisitos, baseando-se na definição de [8]: elicitação, análise e negociação, documentação e validação. Segue, abaixo, breve especificação de cada uma dessas fases.

Na fase de elicitação, cabe à área demandante identificar os requisitos iniciais do sistema. Devem ocorrer reuniões entre as partes, as quais precisam ter conhecimento pleno do processo que será apoiado pelo uso do *software*.

Na fase de análise e negociação, novos requisitos podem ser levantados ou os elicitados pela área demandante podem ser refinados ou excluídos. Haverá uma

negociação dos requisitos. Nesta etapa, a área de tecnologia da informação estudará os requisitos levantados e apoiará a área demandante no refinamento.

Na fase de documentação, realiza-se a escrita dos requisitos em um documento padrão chamado de ERU (especificação de requisitos do usuário), destacado na seção 4.

Por fim, a fase de validação é a aprovação do documento pelos elaboradores, revisores e gestores das respectivas áreas que estão diretamente envolvidas.

DOCUMENTO DE ESPECIFICAÇÃO DE REQUISITOS DO USUÁRIO

Segundo [4], o ERU deve definir com clareza e precisão o que se deseja do *software*. Os requisitos precisam ser rastreáveis e classificados segundo tabela 1:

Tabela 1. Classificação dos requisitos do sistema no ERU.

Classificação do Requisito	Descrição do Requisito
B – BPx	Devem ser plenamente atendidos os requisitos relacionados a: a) impacto na qualidade do produto; b) impacto nas condições de limpeza, sanitização e esterilização; c) cumprimento regulatório de boas práticas de fabricação e legislações farmacêuticas aplicáveis; d) requisitos de processos de atributos críticos da qualidade (ACQ) e parâmetros críticos do processo (PCP).
S – Segurança, Saúde e Meio Ambiente	Requisito crítico que pode afetar a segurança ou o meio ambiente e que, portanto, deve ser plenamente atendido.
N – Não BPx	Requisito necessário, que colabora para otimizar a funcionalidade e operação do sistema, mas que não possui impacto em boas práticas (BPx), saúde, segurança e meio ambiente. Estes requisitos são obrigatórios e devem ser plenamente atendidos.
D – Desejável	Requisito desejável, que pode oferecer facilidades operacionais, de controle, registro de dados, etc. O atendimento a este item se dará quando houver disponibilidade técnica e financeira. No entanto, o item é registrado para consultas futuras.
I – Informativo	Em algumas seções – para propostas e escopo de trabalho – nas quais as informações precisam ser fornecidas com clareza.

Fonte: Arquivo dos autores.

A principal característica é a classificação B, indicando que o requisito tem impacto em BPF. Assim, o sistema deve passar pela validação farmacêutica.

O ERU possui a seguinte estrutura: Objetivo, que define o objetivo do documento; Escopo, a abrangência dos requisitos do *software*; Referência, documentos utilizados como base para o preenchimento do ERU; Glossário, com as principais definições do documento; Descrição Geral, na qual serão descritos os requisitos do sistema.

A Descrição Geral é a principal parte desse documento, pois, nesse tópico, os requisitos levantados estarão dentro de uma das seguintes categorias: Requisitos de Dimensionamento, Requisitos do Processo, Requisitos de Projeto, Requisitos de Interface, Requisitos de Medição e Controle, Requisitos de Operação, Requisitos de Automação e TI, Requisitos de Treinamentos e Requisitos de Validação.

VALIDAÇÃO FARMACÊUTICA

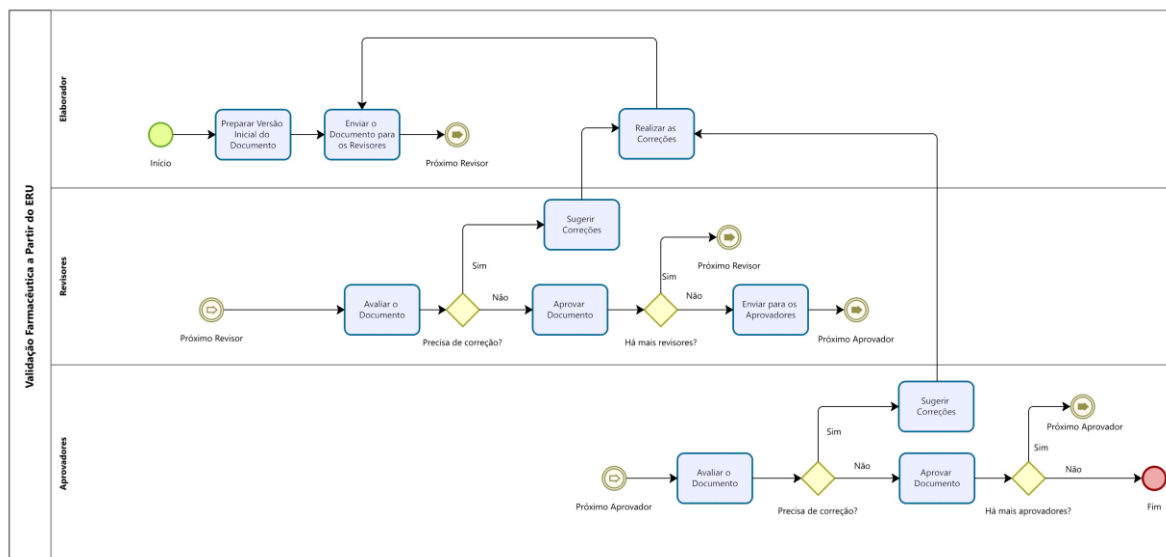
Quando há requisitos classificados como B no ERU, a validação farmacêutica passa pelas seguintes etapas, em sequência: qualificação de projeto (QP), qualificação de instalação (QI), qualificação operacional (QO), qualificação de desempenho (QD) [4].

Na QP, é feita uma verificação documentada se o projeto proposto é adequado ao propósito pretendido. Na QI, é verificado se o sistema foi instalado conforme as especificações pré-aprovadas. Na QO, é verificado se o sistema funciona de acordo com as especificações pré-aprovadas. Na QD, é feita uma avaliação do sistema em operação.

Antes de iniciar a QP, os requisitos do sistema precisam ser elicitados, analisados e negociados, documentados no ERU e validados. Essa validação de requisitos poderá ser feita em documento físico ou digital por meio de um sistema. Na nossa proposta, o elaborador do ERU deverá indicar o dono do processo (geralmente o chefe da área demandante do sistema), os revisores (que sempre devem conter um analista da área de tecnologia da informação e um analista da área de garantia da qualidade farmacêutica) e os aprovadores (contendo no mínimo o chefe da área demandante e o chefe da área da garantia da qualidade farmacêutica). O documento final deve ser assinado por todos e armazenado pela área da garantia da qualidade farmacêutica.

A figura 1 descreve o fluxo da validação farmacêutica do ERU, que é feita de maneira iterativa, isto é, repete-se ao final de cada sprint, caso haja mudanças nos requisitos, já que isso pode interferir no projeto e no sistema como um todo.

Fig. 1. Fluxo de validação farmacêutica a partir do documento ERU.



Fonte: Arquivo dos autores.

MODELO HÍBRIDO PROPOSTO DE GESTÃO DE REQUISITOS

Diante das informações apresentadas nas seções anteriores, chegou-se a um modelo híbrido de gestão de requisitos aplicável às indústrias farmacêuticas. O termo híbrido se refere ao fato de o método unir: i) aplicação das fases do ciclo de vida dos sistemas computadorizados da ANVISA; ii) conhecimentos da engenharia de requisitos (incluindo fases de elicitação, análise e negociação, documentação, verificação e validação de requisitos); iii) aplicação da validação farmacêutica e iv) aplicação do *Scrum*. De início, certas questões são realizadas e, a partir delas, o fluxo segue conforme figura 2:

Q1: O *software* é viável e importante para a organização?

Q2: A área demandante conhece o processo de negócio no qual o sistema irá apoiar?

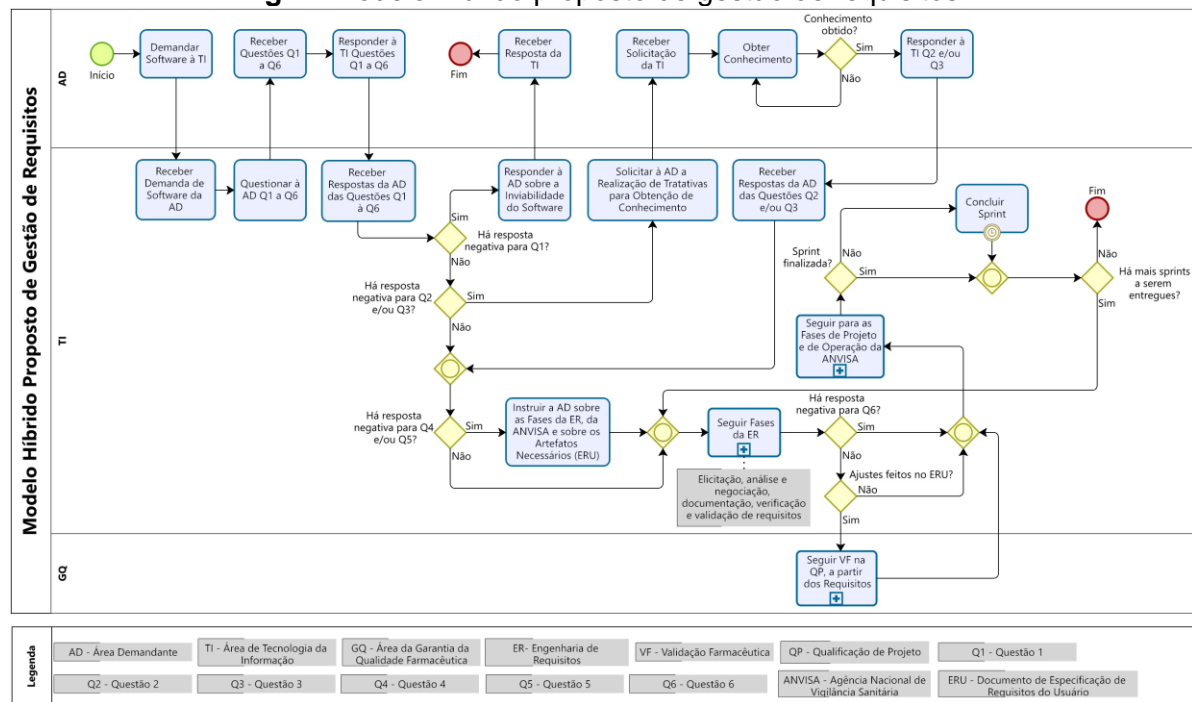
Q3: A área demandante conhece as necessidades do processo de negócio e está confiante em como o *software* poderá apoiar nesses aspectos?

Q4: A área demandante está ciente das fases da engenharia de requisitos que serão aplicadas no processo de desenvolvimento ou aquisição do sistema, bem como dos artefatos gerados nessas fases?

Q5: A área demandante está ciente das fases do ciclo de vida dos sistemas computadorizados da ANVISA, com atenção especial à fase de conceito?

Q6: Há possíveis impactos, diretos ou indiretos, do *software* em BPF?

Fig. 2. Modelo híbrido proposto de gestão de requisitos.



Fonte: Arquivo dos autores.

ESTUDO DE CASO E RESULTADOS OBTIDOS

Neste estudo de caso, foi considerado um sistema para publicar, de maneira transparente, licitações e contratos processados pelos setores de compras, contratações e licitações de uma empresa pública. Destaca-se um duplo desenvolvimento para esse sistema de licitações. A primeira versão foi feita sem adotar nenhuma metodologia eficaz para gestão de requisitos. Já a segunda, em desenvolvimento, adotou esse novo modelo.

O sistema antigo apresentou uma série de problemas: i) não atendia, perfeitamente, às necessidades da área demandante; ii) a identificação dos membros participantes do projeto de sistema foi comprometida pela falta de método; iii) o sistema, apesar de não ser complexo, demorou para ser desenvolvido, pois a

descoberta de requisitos aconteceu durante o processo de desenvolvimento, implicando em retrabalho, como reestruturação de banco de dados, refatoração de código fonte e redesenho da interface do sistema; iv) o sistema não passou pela fase de avaliação de impacto, nem pela conseqüente validação farmacêutica, pois não existiu a confecção do ERU.

Os problemas citados resultaram na descontinuidade do sistema antigo. As duas versões do sistema de licitações foram comparadas. A tabela 2 traduz os resultados obtidos.

Tabela 2. Resultados obtidos no estudo de caso.

RESULTADOS OBTIDOS	Sistema de Licitações Antigo		Sistema de Licitações Novo	
	Resposta	Comentário	Resposta	Comentário
Aplicação das questões (Q1 a Q6), conforme seção 6 deste artigo				
Q1	Sim	A importância já era conhecida pela área, mas sem registro.	Sim	A importância já era conhecida pela área e houve registro.
Q2	Sim	O conhecimento já era inerente à área.	Sim	O conhecimento já era inerente à área.
Q3	Não	Nem todas as necessidades foram postas em evidência.	Sim	As necessidades foram visualizadas, mediante reuniões, e registradas no ERU.
Q4	Não	Não havia discussão entre as áreas sobre o tema.	Sim	Reuniões específicas sobre o tema foram realizadas.
Q5	Não	Não havia discussão entre as áreas sobre o tema.	Sim	Reuniões específicas sobre o tema foram realizadas.

Q6	Não	Sem registro de requisitos com impacto em BPF.	Sim	Foram identificados e registrados no ERU requisitos com impacto em BPF.
Atributos avaliados				
Rastreabilidade dos requisitos	Baixa	Não havia ERU.	Alta	O ERU garante rastreabilidade.
Interação das partes envolvidas	Baixa	Não foram feitas discussões suficientes entre as áreas.	Alta	O modelo iterativo do <i>Scrum</i> permite várias interações.
Conhecimento sobre as necessidades da área demandante	Baixo	Conflitos de entendimento entre as áreas.	Alto	Necessidades exploradas e compreendidas entre as áreas.
Identificação de impacto em BPF	Baixa	Sem método para identificação.	Alta	Impactos capturados e explícitos no ERU.
Insumo para a auditoria do <i>software</i>	Baixo	Ausência de documentações.	Alto	Disponibilidade do ERU.
Identificação de stakeholders	Baixa	Ausência de método para identificação.	Alta	Todos foram identificados em reuniões.

Fonte: Arquivo dos autores.

Observando a tabela 2, notam-se os principais avanços obtidos com o novo modelo híbrido: i) redução da chance de fracasso do *software*, com interações promovidas pelo *Scrum*; ii) atendimento às normas da ANVISA, com tratamento adequado aos sistemas com impacto em BPF; iii) garantia de artefatos rastreáveis para auditoria do *software*.

CONCLUSÃO

O modelo híbrido proposto neste documento trouxe uma visão unificada para a gestão de requisitos no processo de desenvolvimento e aquisição de *softwares* nas indústrias farmacêuticas, agregando à fase de conceito da ANVISA os conhecimentos e benefícios das fases da engenharia de requisitos, em um contexto de aplicação do *framework Scrum*, incluindo a validação farmacêutica a partir do ERU.

Os resultados encontrados mostraram o quanto esse novo modelo tem contribuído na rastreabilidade dos requisitos, na identificação e interação entre as partes envolvidas, no conhecimento sobre as necessidades da área demandante, na identificação real de impacto em BPF e nos insumos para auditoria do *software*.

Espera-se, no futuro próximo, que outros atributos sejam avaliados para comparar os sistemas de licitações antigo e novo citados no estudo de caso deste trabalho, a saber: desempenho do sistema, velocidade de desenvolvimento, impacto nas atividades da área demandante, necessidade de ajustes posteriores no sistema e satisfação do cliente.

REFERÊNCIAS

Interface Tecnológica, <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/322>, último acesso em 12/05/2023.

Jornal do Dia, <https://jornaldiadia.com.br/5-passos-importantes-para-validacao-de-sistemas-computadorizados-na-industria-farmaceutica/>, último acesso em 12/05/2023.

GOV.BR, <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-rdc-n-658-de-30-de-marco-de-2022-389846242>, último acesso em 12/05/2023.

Guia para Validação de Sistemas Computadorizados – Guia n 33/2020 – Versão 1 da ANVISA.

Sutherland, J., Schwaber, K.: Guia do *Scrum*. *Scrum.Org* and *ScrumInc* (2014).

Sommerville, I.: Engenharia de SOFTWARE. 9ª edição. Pearson Education do Brasil Ltda, Brasil (2013).

Leite, J.C.S.P., Qualidade de Software: Teoria e Prática, Orgs. Rocha, Maldonado, Weber, Prentice-Hall, São Paulo (2001).

Bourque, P. A., Fairley, R. E.: SWEBOK - Guide to the Software Engineering Body of Knowledge. [S.l.], (2014).

Boehm, B. W.: Software Engineering Economics. PrenticeHall, (1981).

Análise da Indústria Farmacêutica – Perspectivas e Desafios,
<https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/textos-para-discussao/td183>, último acesso em 12/05/2023.

Boas Práticas de Fabricação de Medicamentos, <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/regulamentacao/agenda-regulatoria/2017-2020/temas/medicamentos/arquivos/tema-7-21.pdf>, último acesso em 12/05/2023.

Engenharia de Requisitos x Software. Você sabe qual a diferença?,
<http://rederequisitos.com.br/engenharia-de-requisitos-software/#:~:text=Portanto%2C%20a%20Engenharia%20de%20Requisitos,acordo%20com%20os%20requisitos%20produzidos>, último acesso em 12/05/2023.

Engenharia de Requisitos Ágil: Extensão de uma Revisão Sistemática da Literatura,
http://wer.inf.puc-rio.br/WERpapers/artigos/artigos_WER21/WER_2021_paper_52.pdf, último acesso em 30/06/2023.



Capítulo 3
AVALIAÇÃO E ACLIMATAÇÃO DE FONTES DE
INÓCULO PARA APLICAÇÃO EM ENSAIOS DE
POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO

Paula Polastri

Bruno Bertolo Caetano

Danielly Cruz Campos Martins

Wardleison Martins Moreira

Daniel Tait Vareschini

Marcelino Luiz Gimenes

AVALIAÇÃO E ACLIMATAÇÃO DE FONTES DE INÓCULO PARA APLICAÇÃO EM ENSAIOS DE POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO

Paula Polastri

*Doutoranda em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, Mestra
em Engenharia Urbana, paulapolastri1983@gmail.com*

Bruno Bertolo Caetano

*Graduando em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, Ensino
médio completo, brunobcaetano1@gmail.com.*

Danielly Cruz Campos Martins

*Docente do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de
Maringá, Dr.^a em Engenharia Química, daniellyccmartins@gmail.com*

Wardleison Martins Moreira

*Docente do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de
Maringá, Dr. em Engenharia Química, wmmoreira@uem.br*

Daniel Tait Vareschini

*Docente do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de
Maringá, Dr. em Ciências Morfológicas, dtvareschini@uem.br*

Marcelino Luiz Gimenes

*Docente do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de
Maringá, Dr. em Engenharia Química, mlgimenes@uem.br*

RESUMO

A digestão anaeróbia (DA) é um processo que ocorre na ausência de oxigênio, onde microrganismos convertem matéria orgânica complexa

em biogás. Essa técnica é amplamente usada no tratamento de substratos de base orgânica, incluindo esgoto, resíduos sólidos urbanos orgânicos, dejetos de animais, efluentes industriais e agrícolas, além de culturas energéticas. Para avaliar a biodegradabilidade desses substratos, os ensaios de Potencial Bioquímico de Metano (BMP) são utilizados, envolvendo a incubação de substratos e inóculos em biorreatores. O inóculo, que fornece os microrganismos necessários para a digestão anaeróbia, é um fator crucial nos ensaios BMP, e sua atividade depende da origem, concentração, atividade, pré-incubação, aclimação e armazenamento do inóculo. Deste modo, o presente estudo teve por objetivo avaliar a qualidade de lodo anaeróbio mesofílico para aplicação em ensaios de potencial bioquímico de metano. Para isso, duas fontes de inóculo foram coletadas e mantidas em biorreator anaeróbio por 50 dias, sendo uma delas proveniente do lodo anaeróbio de uma estação municipal de tratamento de esgoto sanitário e a outra de efluente de suinocultura. Foi realizada a caracterização físico-química das fontes de inóculo, após mistura e durante o período de incubação. Com isso, determinou-se valores dos parâmetros de sólidos totais (ST) igual a $39,36 \text{ g L}^{-1}$, sólidos totais voláteis (STV) igual a $60,17 (\%ST)$, pH igual a $7,48$, ácidos graxos voláteis totais (AGVT) igual a $0,53 \text{ g CH}_3\text{COOH L}^{-1}$, alcalinidade total igual a $4,08 \text{ g CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ e nitrogênio amoniacal total (NAT) igual a $0,19 \text{ g N-NH}_4\text{L}^{-1}$ no dia 1 de incubação. No dia 50, os valores foram de ST igual a $44,48 \text{ g L}^{-1}$, STV igual a $62,66 (\%ST)$, pH igual a $7,37$, AGVT igual a $0,31 \text{ gCH}_3\text{COOH L}^{-1}$, alcalinidade total igual a $3,18 \text{ gCaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ e NAT igual a $0,12 \text{ g N-NH}_4^+ \text{ L}^{-1}$. Esses valores atenderam todos os parâmetros recomendados pela literatura para um inóculo de qualidade, indicando sua viabilidade para aplicação em ensaios BMP.

Palavras-chave: Biogás. Biorreator. Digestão anaeróbia. Efluente de suinocultura. Lodo de esgoto.

ABSTRACT

Anaerobic digestion (AD) is a process that occurs in the absence of oxygen, where microorganisms convert complex organic matter into biogas. This technique has wide application in treating organic substrates, including sewage, organic solid urban waste, animal manure, industrial and agricultural effluents, and energy crops. To evaluate the biodegradability of these substrates, Biochemical Methane Potential (BMP) assays are employed, involving the incubation of substrates and inoculum in bioreactors. The inoculum, provider of the necessary microorganisms for anaerobic digestion, is a critical factor in BMP assays, and its activity depends on the origin, concentration, activity, pre-incubation, acclimatization, and storage of the inoculum. This study aimed to evaluate the quality of mesophilic anaerobic sludge for use in BMP assays. In order to achieve the objective, two inoculum sources were collected and maintained in an anaerobic bioreactor for 50 days, one from anaerobic sludge from a municipal sewage treatment plant and the other from swine wastewater. The physicochemical characteristics of the inoculum

sources were characterized before and during the incubation period. Parameters such as total solids (TS) were found to be 39.36 g L⁻¹, volatile solids (VS) at 60.17 (%TS), pH at 7.48, volatile fatty acids (VFA) at 0.53 g_{CH₃COOH} L⁻¹, alkalinity at 4.08 g_{CaCO₃} L⁻¹, and ammoniacal nitrogen at 0.19 g_{N-NH₄} L⁻¹ on day 1 of incubation. On day 50, the values were TS at 44.48 g L⁻¹, VS at 62.66 (%TS), pH at 7.37, VFA at 0.31 g_{CH₃COOH} L⁻¹, alkalinity at 3.18 g_{CaCO₃} L⁻¹, and ammoniacal nitrogen at 0.12 g_{N-NH₄} L⁻¹. These values attended all the recommended parameters in the literature for high-quality inoculum, indicating its suitability for BMP assays.

Keywords: Biogas. Bioreactor. Anaerobic digestion. Swine wastewater. Sewage sludge.

INTRODUÇÃO

A digestão anaeróbia (DA) é uma tecnologia amplamente aplicável ao tratamento de substratos de base orgânica. Trata-se de um processo no qual microrganismos, na ausência de oxigênio, realizam a conversão da matéria orgânica complexa em biogás (CHERNICHARO, 2016; KHALID *et al.*, 2011; RAPOSO *et al.*, 2011).

Estes substratos são, em sua maioria, resíduos provenientes de processos produtivos tais como esgoto sanitário, fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, dejetos da produção de animais, efluentes líquidos e resíduos sólidos das indústrias e da agricultura, dentre outros. Podem ainda ser aproveitadas as culturas energéticas, espécies vegetais cultivadas especificamente para a geração de energia (RAPOSO *et al.*, 2011).

A biodegradabilidade desses substratos orgânicos, objetivando a produção de metano, tem sido avaliada em laboratório por meio de ensaio de Potencial Bioquímico de Metano (PBM) (em inglês, *Biochemical Methane Potential* – BMP). O ensaio de BMP compreende na incubação de razões específicas de substrato/inóculo em biorreatores por períodos controlados, visando atingir o máximo de biogás produzido por cada combinação (RAPOSO; BORJA; IBELLI-BIANCO, 2020).

A literatura inclui diversos estudos sobre ensaios de BMP, no entanto, este ensaio muitas vezes sofre com a falta de padronização nos procedimentos experimentais. Assim, muitos procedimentos foram propostos para servir como orientações a nível internacional. O primeiro estudo foi realizado por Owen *et al.* (1979). Dentre os métodos de referência mais utilizados se destaca a norma alemã

VDI 4630 (VDI, 2016) da Associação de Engenheiros Alemães (*Verein Deutscher Ingenieure* - VDI), assim como os protocolos com diretrizes para padronização de ensaios de BMP publicados por Hansen *et al.* (2004), Angelidaki *et al.* (2009), Holliger *et al.* (2016) e Hafner *et al.* (2020).

De acordo com Raposo, Borja e Ibelli-Franco (2020), o inóculo é um dos fatores mais importantes em ensaios de BMP, pois fornece os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica no processo de DA. Desta forma, a influência do inóculo é principalmente dependente de seis fatores: origem/fonte, concentração, atividade, pré-incubação, aclimatação/adaptação e armazenamento (RAPOSO *et al.*, 2011).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade de inóculo formado a partir de diferentes fontes para aplicação em ensaios de BMP.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Em relação à origem do material, inóculos mesofílicos ou termofílicos podem ser usados, dependendo da temperatura do ensaio a ser realizado, deve ser fresco e retirado de qualquer biorreator anaeróbico ativo que esteja digerindo matéria orgânica complexa, pois proporciona uma alta comunidade microbiana diversificada capaz de digerir uma grande variedade de moléculas orgânicas (ANGELIDAKI *et al.*, 2009; HOLLIGER *et al.*, 2016).

Diversas fontes de inóculo foram usadas em ensaios de BMP, como lodo digerido de estações de tratamento municipal e industrial de águas residuárias. As fontes mais comumente aplicadas são lodos de biorreatores de estação de tratamento de esgoto municipal e de usinas de biogás, alimentadas com substratos agrícolas ou resíduos orgânicos (ANGELIDAKI *et al.*, 2009). A mais indicada trata-se de lodo de esgoto, uma vez que é a fonte mais adequada de um inóculo diversificado e ativo, e estações de tratamento de esgoto são encontradas em todo o mundo (RAPOSO *et al.*, 2011).

Ainda, uma alternativa ao uso de um inóculo específico, trata-se da mistura de diferentes fontes de inóculo para aumentar a diversidade da comunidade microbiana (ANGELIDAKI *et al.*, 2009; HOLLIGER *et al.*, 2016). Logo, uma comunidade microbiana diversificada e estável em reatores anaeróbicos é necessária para a conversão de substratos em biogás (SGANZERLA *et al.*, 2023).

Para verificar a qualidade do inóculo e determinar possíveis efeitos de inibição na digestão anaeróbia, bem como para realizar o planejamento dos ensaios de BMP, alguns parâmetros devem ser determinados.

Em relação a concentração de sólidos, o inóculo deve ser caracterizado em termos de sólidos totais (ST) e sólidos totais voláteis (STV). Normalmente, a concentração de STV está relacionada com o conteúdo de biomassa microbiana ativa, sendo necessário para calcular a quantidade de inóculo a ser utilizada.

Adicionalmente, a concentração de STV do inóculo no início dos ensaios é um fator muito importante quanto a relação inóculo/substrato (RIS) a ser aplicada (RAPOSO; BORJA; IBELLI-BIANCO, 2020).

A norma VDI 4630 (VDI, 2016) apresenta diversas recomendações para o inóculo a ser utilizado em ensaios de BMP nas quais incluem: materiais grosseiros, se presentes, devem ser removidos por peneiramento por meio de peneira com abertura de malha de 1 a 5 mm; relação STV/ST maior do que 50%; o teor de STV entre 1,5 a 2,0% do conteúdo do ensaio, ou seja, o inóculo deve apresentar uma concentração de STV entre 15 e 20 gSTV L⁻¹.

Por fim, parâmetros importantes para verificação da qualidade do inóculo incluem: pH, ácidos graxos voláteis totais (AGVT), nitrogênio amoniacal total (NAT) e alcalinidade total (AT) (HOLLIGER *et al.*, 2016).

METODOLOGIA DA PESQUISA

Fontes de inóculo

O inóculo preparado neste estudo foi composto pela mistura de efluente líquido e lodo anaeróbio de fontes distintas, em que foram coletadas em diferentes biorreatores anaeróbios em escala real que operam no tratamento de águas residuárias. Portanto, foram utilizadas duas fontes de inóculo, efluente líquido da atividade de suinocultura, Inóculo A (Foto 1), e lodo anaeróbio de uma estação municipal de tratamento de esgoto sanitário, Inóculo B (Foto 2).

Foto 1 - Biorreator anaeróbico operando no tratamento de efluente líquido de suinocultura: (a) imagem do biorreator; (b) detalhe da coleta de efluente líquido na entrada do biorreator.



Fonte: autores (2023)

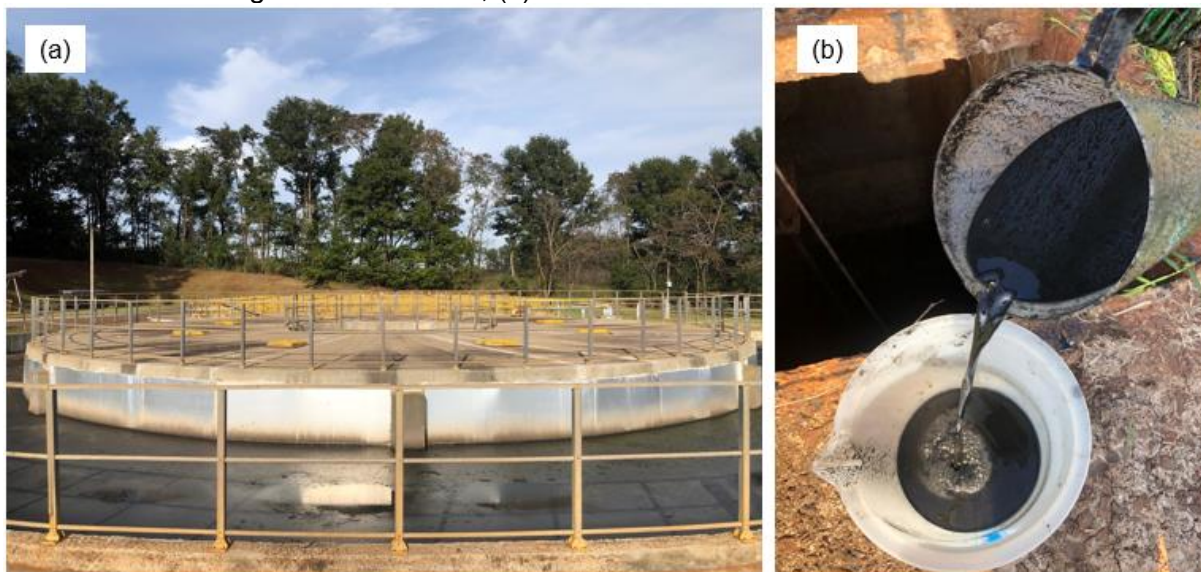
Conforme apresentado na Foto 1, o efluente do biorreator que trata efluente líquido da atividade de suinocultura (Inóculo A), foi coletado na entrada e na saída do biorreator, de forma a se obter uma fonte de inóculo composta de microrganismos do trato intestinal dos suínos (entrada) e de microrganismos do processo de DA (saída). Trata-se de um biorreator de lagoa coberta com volume de 2.500 m³, sem sistema de aquecimento e agitação.

Este modelo de biorreator, também conhecido como “canadense” ou “biorreator de lona”, compreende em um tanque escavado no solo, impermeabilizado e coberto com material geossintético, com geometria de base retangular de seção trapezoidal com inclinação do talude (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

O efluente era gerado em uma das unidades de produção de leitões com 11.500 animais, de um empreendimento de suinocultura, localizado no município de Brasilândia, no estado do Mato Grosso do Sul, no sistema de produção de suínos denominado “*wean to finish*” (WF).

Nesse sistema, os leitões são desmamados e transferidos diretamente a um galpão WF (creche-crescimento-terminação), em que permanecem até o abate (CONSONI *et al.*, 2015). Em média, os animais chegavam na unidade de produção vindos direto da maternidade, com 21 dias, e permaneciam até o abate, por aproximadamente 165 dias.

Foto 2 - Biorreator anaeróbio operando no tratamento de esgoto sanitário municipal: (a) imagem do biorreator; (b) detalhe da coleta de lodo anaeróbio.



Fonte: autores (2023)

Como mostra a Foto 2, o lodo anaeróbio (Inóculo B) foi coletado em um biorreator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (em inglês, *upflow anaerobic sludge blanket* – UASB), sem sistema de aquecimento, com volume útil de 2.650 m³ e capacidade para tratamento de 320 L s⁻¹, em uma estação de tratamento de esgoto sanitário no município de Maringá, Paraná.

Métodos analíticos

Para remoção de materiais grosseiros, após a coleta, as fontes de inóculo passaram por peneiramento por meio de uma peneira com malha menor do que 5 mm, conforme sugerido por Holliger *et al.* (2016).

Posteriormente ao preparo das amostras, realizou-se a caracterização físico-química. Os parâmetros analisados e os métodos analíticos para a determinação desses parâmetros são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros e métodos analíticos para caracterização das fontes de inóculo.

Parâmetro	Método analítico	Referência
Sólidos totais (ST)	Método 2540-B (gravimétrico)	APHA (1998)
Sólidos totais voláteis (STV)	Método 2540-E (gravimétrico)	APHA (1998)
Sólidos totais fixos (STF)	Método 2540-E (gravimétrico)	APHA (1998)

pH	Método 4500-H ⁺ (potenciométrico)	APHA (1998)
Alcalinidade total (AT)	Método 2320-B (titulométrico e potenciométrico)	APHA (1998)
Ácidos graxos voláteis totais (AGVT)	Titulométrico e potenciométrico	Dilallo e Albertson (1961)
Nitrogênio amoniacal total (NAT)	Método 4500-NH ₃ B e C (destilação e titulação)	APHA (1998)

Fonte: autores (2023)

Para determinação do teor de sólidos foram utilizados os equipamentos balança analítica (*Bel Engineering*, M254A, resolução de 0,0001 g, erro de 0,001 g), estufa (Fanem, 515 A) e forno mufla (Quimis, Q318M).

O ajuste do valor de pH para 9,5 das amostras para determinação do NAT, assim como o valor do pH, AT e AGVT, foram determinados com um medidor de pH (Digimed DM/2) e eletrodo previamente calibrado (Digimed DME-CV1) de acordo com o manual do equipamento, e com um agitador magnético analógico (Fisatom, 752A).

Os parâmetros AT e AGVT foram realizados no sobrenadante, com as frações solúveis das amostras obtidas por centrifugação em centrífuga (BioEng, BE-6000) a 3000 rpm por 30 min. O parâmetro NAT foi analisado usando um destilador de nitrogênio (Tecnal, TE-036/1).

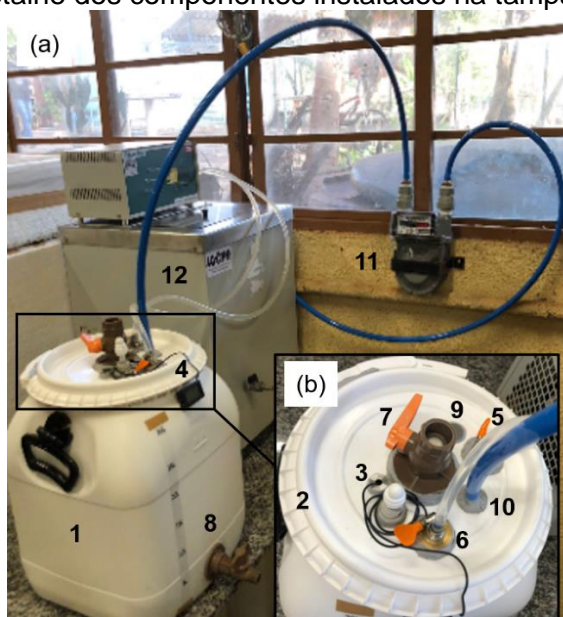
As análises foram realizadas em triplicata e conforme metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998), com exceção da análise de AGVT que foi baseada na metodologia de Dilallo e Albertson (1961).

Estes parâmetros foram analisados para caracterização físico-química das fontes de inóculo, assim como para o monitoramento semanal do inóculo preparado após a mistura dos Inóculos A e B.

Configuração experimental e monitoramento

Com o intuito de manter o inóculo ativo em condições anaeróbias e mesofílicas, após a mistura, o inóculo foi mantido em um biorreator de polietileno de alta densidade (PEAD) com capacidade de 30 litros (Foto 3), e volume do meio reacional de 21 litros, sendo considerado 30% de *headspace*.

Foto 3 - Biorreator de inóculo mesofílico: (a) biorreator, banho termostático e medidor de biogás; (b) detalhe dos componentes instalados na tampa do biorreator.



Legenda: (1) biorreator de PEAD de 30 L; (2) tampa e cinta lacre; (3) poço termométrico; (4) termômetro digital; (5) ponto de entrada de água na serpentina; (6) ponto de saída de água da serpentina; (7) válvula de entrada de substrato; (8) válvula de coleta de inóculo; (9) ponto de coleta do biogás; (10) ponto de saída do biogás; (11) medidor de gás volumétrico (LAO, G-1) e (12) banho termostático.

Fonte: autores (2023)

A composição do inóculo consistiu no preparo a partir da mistura de Inóculo A e B (relação volumétrica de 3:1, respectivamente). Após a inserção das fontes de inóculo, o biorreator foi fechado e lacrado com um anel de fechamento do tipo cinta lacre, do mesmo material do biorreator. Posteriormente, uma corrente de N₂ (gás nitrogênio com concentração de 99,9%) foi circulado no biorreator para garantir condições anaeróbias.

Como ambas as fontes de inóculo foram coletadas em biorreatores operados em temperatura ambiente, para adaptação dos microrganismos presentes no inóculo em condições mesofílicas, o mesmo foi submetido a um aumento de temperatura gradativo de 2 °C por dia até alcançar 37 °C (PERIN *et al.*, 2020). Sendo o biorreator operado e mantido em temperatura mesofílica (37 ± 1 °C) e agitação manual.

O sistema de aquecimento do biorreator operou por meio de um banho termostático (Nova Ética, 521/3D), a 37 ± 1 °C, externamente ao biorreator, sendo a água aquecida circulada por meio de uma serpentina de aço inox em contato com o inóculo na parte interna do biorreator. A temperatura do inóculo foi controlada pelo termômetro digital (Ferimte, China) acoplado ao poço termométrico.

O biorreator foi operado por 14 dias sem alimentação dos substratos (resíduos sólidos) a serem utilizados em ensaios de BMP, posteriormente. Após esse período, já operando em 37 ± 1 °C, foi operado em batelada, sendo alimentado com certa carga orgânica a cada 20 dias para aclimação/adaptação da biomassa microbiana aos resíduos.

O inóculo foi monitorado semanalmente, durante 50 dias para avaliação dos parâmetros de qualidade. O primeiro dia representou o monitoramento antes da alimentação com os substratos (resíduos sólidos) para aclimação/adaptação do inóculo a estas novas fontes de alimento, assim como para serem utilizados em futuros ensaios de BMP.

ANÁLISE DE DADOS

Os valores médios correspondentes a caracterização físico-química das fontes de Inóculo A e B, e após a mistura são mostrados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 - Caracterização físico-química das fontes de inóculo.

Parâmetro (unidade)	Inóculo A	Inóculo B
ST (g L ⁻¹)	17,78 ± 0,13	48,05 ± 0,69
STF (g L ⁻¹)	5,49 ± 0,09	18,58 ± 0,33
STV (g L ⁻¹)	12,29 ± 0,40	29,47 ± 0,44
STV (%ST)	69,12 ± 2,62	61,34 ± 0,37
pH (-)	7,48 ± 0,10	7,76 ± 0,05
AT (g CaCO ₃ L ⁻¹)	3,82 ± 0,03	2,11 ± 0,02
AGVT (g CH ₃ COOH L ⁻¹)	0,75 ± 0,10	0,37 ± 0,10
AGVT/AT (-)	0,20 ± 0,03	0,44 ± 0,04
NAT (g N-NH ₄ L ⁻¹)	0,28 ± 0,01	0,28 ± 0,02

ST: sólidos totais; STF: sólidos totais fixos; STV: sólidos totais voláteis; AT: alcalinidade total; AGVT: ácidos graxos voláteis total; AGVT/AT: relação entre ácidos graxos voláteis totais e alcalinidade total; NAT: nitrogênio amoniacal total, expresso em g N-NH₄ L⁻¹. Os valores médios e o desvio padrão são reportados (n = 3).

Fonte: autores (2023)

De acordo com Holliger *et al.* (2016), os parâmetros e valores que caracterizam um inóculo de boa qualidade para aplicação em ensaios de BMP são: pH entre 7,0 e 8,5, alcalinidade maior do que 3,0 g CaCO₃ L⁻¹, e concentrações de AGVT e NAT menores do que 1,0 g CH₃COOH L⁻¹ e 2,5 g N-NH₄⁺ L⁻¹, respectivamente.

Logo, conforme observado na Tabela 1, todos os valores encontram-se dentro do recomendado pela literatura para uso como inóculo em ensaios de BMP, com exceção dos parâmetros AT do Inóculo A, que se encontra abaixo do valor

recomendado, assim como a relação AGVT/AT encontra-se acima do recomendado (0,40).

Tabela 2 - Monitoramento do inóculo mesofílico.

Parâmetro (unidade)	Tempo de incubação após a mistura	
	Dia 1	Dia 50
ST (g L ⁻¹)	39,36 ± 0,91	44,48 ± 0,08
STF (g L ⁻¹)	15,84 ± 0,62	16,75 ± 1,60
STV (g L ⁻¹)	23,92 ± 0,33	28,13 ± 1,90
STV (%ST)	60,17 ± 0,67	62,66 ± 3,78
pH	7,48 ± 0,02	7,37 ± 0,04
AT (g CaCO ₃ L ⁻¹)	4,08 ± 0,27	3,18 ± 0,03
AGVT (g CH ₃ COOH L ⁻¹)	0,53 ± 0,02	0,31 ± 0,02
AGVT/AT	0,13 ± 0,00	0,10 ± 0,01
NAT (g N-NH ₄ ⁺ L ⁻¹)	0,19 ± 0,01	0,12 ± 0,00

ST: sólidos totais; STF: sólidos totais fixos; STV: sólidos totais voláteis; AT: alcalinidade total; AGVT: ácidos graxos voláteis total; AGVT/AT: relação entre ácidos graxos voláteis totais e alcalinidade total; NAT: nitrogênio amoniacal total, expresso em g N-NH₄ L⁻¹. Os valores médios e o desvio padrão são reportados (n = 3).

Fonte: autores (2023)

A relação AGVT/TA é normalmente usada para inferir sobre o acúmulo de ácidos orgânicos ou a redução de alcalinidade antes da diminuição do pH (STEINMETZ *et al.*, 2016).

De acordo com Lili *et al.* (2011), a relação AGVT/TA pode ser utilizada para avaliar a adequação da carga orgânica em biorreatores anaeróbios. Para os autores, valores entre 0,30 e 0,40 indicam uma produção ótima de biogás, por outro lado, valores menores do que 0,30 ou maiores do que 0,40 sugerem baixa entrada de substrato ou condições de sobrecarga, respectivamente. Portanto, para assegurar a estabilidade do processo de DA, a relação geralmente deve ser inferior a 0,40.

Conforme dados da Tabela 2, o inóculo a ser utilizado nos ensaios de BMP apresentou ser um inóculo de boa qualidade, alcançando o desempenho requerido no dia 50 de incubação.

A relação AGVT/AT do inóculo após a incubação se manteve abaixo de 0,40, e a relação STV/TS foi superior a 50%, indicando quantidade satisfatória de microrganismos para os ensaios de BMP (VDI, 2016). Ainda, pode-se observar o aumento do teor de STV de 23,92 para 28,13, indicando possivelmente um aumento da biomassa microbiana.

Em comparação, Sicchieri *et al.* (2022) relataram valores de pH 7.66 para lodo de esgoto e 7.06 para dejetos suíno digerido. Koch, Lippert e Drewes (2017) relataram

características similares em termos de STV (62,20%ST) e pH (7,67) para o inóculo de um biorreator de uma estação municipal de tratamento de esgoto sanitário. Assim como, Steinmetz *et al.* (2016) apresentaram valor de pH (7,96) e STV (56,70%ST) do inóculo de um biorreator do tratamento de dejetos de suínos próximo aos valores encontrados para o inóculo em estudo.

Adicionalmente, resultados semelhantes foram reportados para as fontes de inóculo de lodo de esgoto e dejetos suíno digerido, sendo observados valores para AT de 6.655 e 3.248 mg L⁻¹, e para AGVT valores de 147,6 e 187,2 mg L⁻¹, respectivamente (SICCHIERI *et al.*, 2022). Assim como, para lodo de esgoto, foram observados por Córdoba, Fernández e Santalla (2016) valores para AT de 5.063 mgCaCO₃ L⁻¹ e para nitrogênio amoniacal de 882,20 mg N-NH₄⁺ L⁻¹.

Portanto, todos os parâmetros analisados atingiram os valores recomendados para uma adequada atividade metanogênica no dia 50 de incubação. Isto somado a pequena variação de pH e baixa relação AGVT/AT observada, apresentando estabilidade do inóculo, o que é essencial para a aplicação em ensaios de BMP.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, a caracterização e monitoramento dos parâmetros prioritários para avaliar a qualidade do inóculo foi essencial para avaliar a sua aplicação em ensaios de BMP.

Além da disponibilidade e o acesso à coleta destes materiais, que foram fatores influenciadores na escolha das fontes de inóculo, a partir dos resultados obtidos, pode-se verificar que a mistura das fontes de inóculo, mantidas por um período de incubação de 50 dias em condições mesofílicas, mostrou ser uma estratégia eficiente para aumentar a diversidade da comunidade microbiana.

Desta forma, a mistura de inóculos de diferentes fontes indicou ser viável para aplicação em ensaios de BMP. No entanto, sugere-se que inóculo seja utilizado após estabilidade, respeitando o período de aclimação necessário para alcançar um lodo anaeróbio estável e com melhor degradabilidade do substrato.

Por fim, indica-se a avaliação do inóculo aclimatado com um substrato de referência como, por exemplo, celulose microcristalina para verificar a atividade metanogênica do inóculo e os critérios para validação quanto ao seu desempenho em termos de produção de biogás e metano para seu uso em ensaios de BMP.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington D.C., USA: APHA, 1998.

ANGELIDAKI, I. *et al.* Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: A proposed protocol for batch assays. **Water Science and Technology**, v. 59, n. 5, p. 927–934, 2009.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016.

CONSONI, W. *et al.* Análise produtiva e econômica de suínos criados nos sistemas wean to finish e convencional de produção. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 67, n. 4, p. 1087–1095, 2015.

CÓRDOBA, V.; FERNÁNDEZ, M.; SANTALLA, E. The effect of different inoculums on anaerobic digestion of swine wastewater. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 4, n. 1, p. 115–122, 2016.

DILALLO, R.; ALBERTSON, O. E. Volatile Acids by Direct Titration. **Water Pollution Control Federation**, v. 33, n. 4, p. 356–365, 1961.

HAFNER, S. D. *et al.* Improving inter-laboratory reproducibility in measurement of Biochemical Methane Potential (BMP). **Water**, v. 12, p. 1–30, 2020.

HANSEN, T. L. *et al.* Method for determination of methane potentials of solid organic waste. **Waste Management**, v. 24, p. 393–400, 2004.

HOLLIGER, C. *et al.* Towards a standardization of biomethane potential tests. **Water Science and Technology**, v. 74, n. 11, p. 2515–2522, 2016.

KHALID, A. *et al.* The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Management**, v. 31, p. 1737–1744, 2011.

KOCH, K.; LIPPERT, T.; DREWES, J. E. The role of inoculum's origin on the methane yield of different substrates in biochemical methane potential (BMP) tests. **Bioresource Technology**, v. 243, p. 457–463, 2017.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. DO. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019.

LILI, M. *et al.* **Novel approach on the basis of FOS/TAC method**. Proceedings of the Analele Universitatii din Oradea, Fascicula Protectia Mediului,. **Anais...Oradea**, Romania: 2011.

OWEN, W. F. *et al.* Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. **Water Research**, n. 13, p. 485–492, 1979.

PERIN, J. K. H. *et al.* Optimization of methane production parameters during anaerobic co-digestion of food waste and garden waste. **Journal of Cleaner Production**, v. 272, p. 123130, 2020.

RAPOSO, F. *et al.* Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: An overview relating to methane yields and experimental procedures. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 861–877, 2011.

RAPOSO, F.; BORJA, R.; IBELLI-BIANCO, C. Predictive regression models for biochemical methane potential tests of biomass samples: Pitfalls and challenges of laboratory measurements. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 127, p. 109890, 2020.

SGANZERLA, W. G. *et al.* Application of Anaerobic Co-digestion of Brewery by-Products for Biomethane and Bioenergy Production in a Biorefinery Concept. **Bioenergy Research**, 2023.

SICCHIERI, I. M. *et al.* Selection, composition, and validation of standard inoculum for anaerobic digestion assays. **Biomass and Bioenergy**, v. 164, p. 106558, 2022.

STEINMETZ, R. L. R. *et al.* Enrichment and acclimation of an anaerobic mesophilic microorganism's inoculum for standardization of BMP assays. **Bioresource Technology**, v. 219, p. 21–28, 2016.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. **VDI 4630**: fermentation of organic materials: characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. Düsseldorf, Germany: VDI, 2016.

Capítulo 4
CONFORTO TÉRMICO DE CASAS DO
PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA
UTILIZANDO DADOS CLIMÁTICOS DE BELÉM-
PA

Euley Johan da Silva Dantas
Jean Carlos de Almeida
David Lohan Pereira de Sousa
João Felipe Ferreira Teixeira
Larissa dos Santos Borges
Luiz Claudio Fialho Andrade

CONFORTO TÉRMICO DE CASAS DO PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA UTILIZANDO DADOS CLIMÁTICOS DE BELÉM-PA

Euley Johan da Silva Dantas

*Universidade Federal do Pará. B.Sc em Ciência e Tecnologia
euley.dantas@ananindeua.ufpa.br*

Jean Carlos de Almeida

*Universidade Federal do Pará. Mestrando em Engenharia Mecânica
jean.nobre@ananindeua.ufpa.br*

David Lohan Pereira de Sousa

*Universidade Federal do Pará. Mestrando em Engenharia Mecânica
david.sousa@ananindeua.ufpa.br*

João Felipe Ferreira Teixeira

*Universidade Federal do Pará. B.Sc em Ciência e Tecnologia
João.texeira@ananindeua.ufpa.br*

Larissa dos Santos Borges

*Universidade Federal do Pará. Mestrando em Engenharia Mecânica
larissa.borges@ananindeua.ufpa.br*

Luiz Claudio Fialho Andrade

*Universidade Federal do Pará. Dr. em Engenharia Mecânica
lfialho@ufpa.br*

RESUMO

O experimento numérico é realizado no projeto padrão da casa popular sobre dados climáticos referentes à cidade de Belém-PA no ano de 2022, com foco na temperatura interna do ar e na umidade relativa interna do ar, comparando os resultados obtidos com a norma

de conforto térmico NBR 16401. Os resultados obtidos para o conforto térmico no banheiro com os materiais originários da planta baixa ficaram em 510 horas do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 1.260 horas. No quarto frontal com os materiais propostos pela planta baixa o conforto térmico ficou em 2.160 horas, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.160 horas. No quarto traseiro com os materiais da planta baixa o conforto térmico ficou em 2.340 horas, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.260 horas. Na sala e cozinha com os materiais da planta baixa o conforto térmico ficou em 3.010 horas, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.820 horas.

Palavras-chave: Desempenho térmico. conforto térmico. Energyplus.

ABSTRACT

The numerical experiment is carried out in the standard project of the popular house on climate data referring to the city of Belém-PA in the year 2022, focusing on internal air temperature and internal relative humidity, comparing the results obtained with the comfort standard thermal NBR 16401. The results obtained for thermal comfort in the bathroom with materials originating from the floor plan were 510 hours in 2022, with the change of materials thermal comfort reached 1,260 hours. In the front room with the materials proposed by the floor plan, thermal comfort was 2,160 hours, with the change of materials thermal comfort reached 3,160 hours. In the rear room with the floor plan materials, thermal comfort was 2,340 hours, with the change of materials thermal comfort reached 3,260 hours. In the living room and kitchen, with the materials on the floor plan, thermal comfort was 3,010 hours, and with the change of materials, thermal comfort reached 3,820 hours.

Keywords: Thermal performance. thermal comfort. Energyplus.

INTRODUÇÃO

O programa social Minha casa Minha vida é uma iniciativa do Governo Federal que tem como objetivo principal implementar políticas e programas que promovam o acesso à moradia digna para população de baixa renda, para a redução do déficit habitacional no Brasil. Fazem parte do programa instituições privadas do setor de habitação, agentes financeiros autorizados pelo Conselho Monetário Nacional, Caixa Econômica Federal, dentre outros. Através de programas como o Minha casa Minha Vida, a população de baixa renda tem acesso a habitações com parcelas que cabem no seu orçamento (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2021).

O programa federal Minha Casa Minha vida é um conjunto de programas como o da CDHU (Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano), administrado

pelos governos estaduais, e COHAB (Companhia de Habitação Popular), de responsabilidade dos governos municipais. Esse programa, essencialmente, consiste em construções habitacionais populares na forma de casas e apartamentos. Nas casas populares os moradores têm, em regra, mais autonomia para modificar materiais e o layout da casa; nos apartamentos essa liberdade é menor, já que essas habitações fazem parte de um prédio, que, deve seguir padrões mais difíceis de alterar, por questões relacionadas à integridade estrutural de todo o edifício.

A Figura 1 mostra uma fotografia de uma casa popular da COHAB em Benevides-PA (conjunto habitacional Juritis), que apresenta padrões estruturais semelhantes ao projeto padrão apresentado no Capítulo Metodologia (Figura 4).

Figura 1 - Casas populares no conjunto habitacional Juritis, Benevides-PA.



Fonte: Google Maps, (2023).

O foco deste trabalho é utilizar o projeto padrão da Caixa Econômica Federal e demais órgãos responsáveis para simular e analisar numericamente o desempenho térmico da casa popular quanto à temperatura interna do ar e à umidade relativa interna do ar na casa popular em cada cômodo, variáveis de saída influenciadas por variáveis de entrada, internas (baseadas na condição estrutural da casa), e externas (baseadas na condição climática do local da casa). Os experimentos numéricos são realizados sobre dois conjuntos de materiais construtivos diferentes, para dados climáticos referentes à cidade de Belém-PA, no ano de 2022, para verificar se a casa popular obedece aos padrões de conforto térmico segundo a NBR 16401.

Os materiais construtivos possuem propriedades termofísicas como condutividade térmica, calor específico, densidade, entre outras, que respondem de forma diferente a determinada condição climática. Dessa forma, para determinar a

resposta termoenergética da casa popular do programa Minha Casa Minha Vida estudada sob as condições climáticas de Belém-PA, o presente estudo foi realizado. Para isto, foram utilizadas três ferramentas computacionais: os *softwares Energyplus, Openstudio e SketchUp*.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conforto térmico é um estado mental que expressa a satisfação de uma pessoa com o ambiente térmico ao seu redor. A insatisfação com o ambiente térmico pode ser causada por desconforto devido ao calor ou frio, se o equilíbrio térmico não for estável, ou seja, se existem diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor que sai do ambiente (ASHRAE, 2021).

Segundo Frota e Schiffer (2001) o corpo humano está em situação de conforto térmico quando, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, perde para o ambiente o calor produzido pelo metabolismo proporcional à sua atividade.

De acordo com Parsons (2014) o conforto térmico é dado pela análise de seis parâmetros básicos. Energia metabólica gerada pela atividade humana, vestuário e os quatro fatores ambientais: temperatura do ar, radiação térmica, umidade e movimento do ar. O autor ressalta, porém, que a simples quantificação destes fatores não é suficiente para determinar o quão confortável alguém está em um ambiente, uma vez que o ser humano existe em um contexto social sob a influência de diversas interações e sentimentos.

A Neutralidade térmica é um estado físico, no qual todo o calor gerado pelo organismo através do metabolismo, seja trocado em igual proporção com o ambiente ao redor, não havendo nem acúmulo de calor, nem perda excessiva do mesmo, mantendo a temperatura corporal constante (ASHRAE, 2021). A neutralidade térmica é uma condição necessária, mas não suficiente para que uma pessoa esteja em conforto térmico. Um indivíduo que estiver exposto a um campo assimétrico de radiação, pode muito bem-estar em neutralidade térmica, porém não estará em conforto térmico, logo as normas regulamentadoras nos dão uma base de neutralidade térmica.

Os pesquisadores Sousa, Nobre e Andrade (2021), estudaram por meio computacional as condições climáticas para o ano de 2021, da cidade de Belém-PA. O arquivo climático disponível no repositório do *software EnergyPlus* foi compilado no

software para gerar resultados de temperaturas médias, que são comparadas com as temperaturas da base dados *CLIMATE-DATA.ORG*. Os resultados obtidos mostraram variações de temperaturas médias, mínima e máxima de 0,1 °C até 1,7 °C.

Brisola (2022), analisou onde foram analisados dados históricos meteorológicos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para avaliar mudanças climáticas ocorridas na cidade de Belém-PA no período de 2011 a 2021. O estudo mostra dados climáticos da cidade de Belém-PA resultantes da análise estatística. A radiação solar anual para o período de 2011 a 2021 variou de 1268,81 kJ/m² a 949,23 kJ/m². O comportamento da temperatura do ar de bulbo seco ao longo do período de 2011 a 2021 variou de 26,6 °C e 26,8 °C. Na umidade relativa do ar houve variação média de 80,1% a 84%, mínima de 77,7% a 80% e máxima de 82,4% a 86,9%. A rajada máxima do vento no período de 2011 a 2021 variou de 3,73 m/s a 3,55 m/s e a velocidade variando de 0,94 m/s a 0,7 m/s.

Silva (2022), realizou um estudo com duas bases de dados distintas para a realização de um tratamento estatístico sobre amostras da radiação solar e da temperatura do ar na cidade de Belém-PA comparando as bases e gerando perfis climáticos finais para cada arquivo climático. Os dados expressos no arquivo climático SWERA estão entre os anos de 1973 até 1997 e no arquivo climático IWECA os anos analisados foram de 1982 até 1995. Após o tratamento estatístico de 14 anos (1982 – 1995), gerou-se os perfis finais do arquivo climático do projeto IWECA para cada mês do ano na cidade de Belém-PA. A temperatura de bulbo seco anual apresentou média total de 26,53 °C, uma mínima de 19,91 °C e uma máxima de 35,5 °C. A temperatura de bulbo úmido apresentou um perfil anual com uma média total de 24,36 °C, uma mínima de 19,91 °C e uma máxima de 27,76 °C. A radiação solar difusa em W/m², apresentou um perfil anual com uma média total de 122,45 W/m², mínima de 0 W/m² e uma máxima de 579,33 W/m². A radiação solar direta em W/m², apresentou um perfil anual com uma média total de 116,464 W/m² e uma máxima de 897,25 W/m².

Borges (2022), realizou um estudo cujo objetivo foi fazer simulações numéricas das propriedades térmicas de edifícios para analisar a temperatura do ar interior de um edifício com materiais de construção alternativos. Foram incluídas propriedades construtivas, como peças estruturais e suas propriedades térmicas. O arquivo climático utilizado foi o da cidade de Belém-PA fornecido pelo projeto SWERA. As ferramentas utilizadas nesta simulação foram os softwares SketchUp Make 2017, OpenStudio e EnergyPlus. Com a simulação numérica foi possível analisar variáveis

climáticas do próprio arquivo climático como bulbo seco e úmido e radiações solares, juntamente a resultados gerados pelo EnergyPlus mostrando a temperaturas internas na estrutura estudada como média, mínima, máxima e desvio padrão, em seguida, é feita as comparações do mês mais frio e o mês mais quente e a curva de duração anual da temperatura interna do ar que mostra a média da temperatura do ar na edificação em relação às horas totais do ano de 2021. A edificação apresenta anualmente uma temperatura interna do ar com uma máxima de 34,08 °C, mínima de 24,43 °C, média anual de 28,5 °C, e um desvio padrão de 2 °C.

Gomes (2022), realizou uma pesquisa que visa comparar diferentes materiais utilizados em construções habitacionais, as comparações feitas levam em consideração materiais tradicionais e alternativos. A fim de encontrar o material com um melhor isolamento térmico para o clima da cidade de Belém-PA é feita a análise comparativa. A análise comparativa entre os materiais tradicionais e alternativos se dá pela temperatura interna do ar em °C com base nessa temperatura pode-se analisar o isolamento térmico de cada combinação de materiais. Os resultados mostraram que a média anual da temperatura do ar com materiais tradicionais é de 27 °C com uma curva de duração que vai de 23,4 °C a 30,9 °C durante 8.760 h do ano. Para os materiais alternativos apresentaram uma média anual de 25,9 °C com uma curva de duração entre 22,9 °C a 29,19 °C durante 8.760 h do ano. Os materiais alternativos apresentaram menores temperaturas do ar na estrutura analisada.

Nobre et al. (2021), realizaram uma simulação numérica em uma residência conjunta popularmente conhecida como vila ou kitnet no mês de março em Ananindeua-PA utilizando o software EnergyPlus, onde foram levadas em consideração variáveis climáticas e do próprio edifício. Com isso, gerou-se uma zona térmica com temperaturas de 21 °C até 29 °C no mês de março e com estes dados averiguou-se que os cômodos do edifício cumpriam os padrões da ISO 9241/2011 sobre bem-estar térmico. Os dias do mês de março dentro dos padrões térmicos de conforto foram os dias 05, 11 e 12 para a Unidade 1, 04 e 18 para a Unidade 2, 04 e 18 para a Unidade 3 e 04, 05, 12 e 18 para a Unidade 4.

Siqueira (2022), realizou um trabalho cujo objetivo é encontrar a temperatura interna do ar em uma edificação idealizada em Belém-PA e Florianópolis-SC no ano de 2021, verificando como uma estrutura com os mesmos materiais se comporta em situações climáticas diferentes. Os resultados mostram que a temperatura na cidade

de Belém-PA no edifício vai de 22,8 °C até 31,6 °C; na cidade de Florianópolis-SC a temperatura interna do ar no edifício vai de 14,6 °C a 31,2 °C.

Nobre (2022), realizou uma monografia que tem por finalidade utilizar o *software* livre *EnergyPlus* para simular e analisar o nível de temperatura do ar no auditório do campus Ananindeua da Universidade Federal do Pará, localizado em Ananindeua-PA que está em fase de construção, com variáveis meteorológicas, estruturais e fisiológicas. A análise de desempenho térmico do auditório foi realizada no ano de 2021, para zonas térmicas de cada mês do ano, verificando e indicando a época do ano com maiores e menores temperaturas do ar no ambiente, utilizando como base de dados arquivos climáticos de Belém-PA. Os resultados obtidos para o desempenho térmico estrutural, no ano analisado, foram retirados de duas simulações com o *software*, a primeira simulação adotou-se somente variáveis meteorológicas e estruturais, na segunda adotou-se variáveis meteorológicas, estruturais e fisiológicas, verificando a variação da temperatura no auditório com a quantidade máxima de pessoas no local, e por fim realizou-se análises de bem-estar térmico do ambiente com a ISO 9241/2011.

Sousa (2022), realizou simulações computacionais para análise do desempenho térmico em um edifício institucional da Universidade Federal do Pará, localizado no município de Ananindeua-PA, planejando demonstrar a capacidade do método abordado, utilizando o *software Energyplus*. Em relação ao edifício foram determinadas diversas características, entre elas, elementos construtivos e suas propriedades térmicas, perfil de atividades, consumo por unidade dos equipamentos elétricos e sistema de iluminação. Para analisar o desempenho térmico estrutural, conforto térmico e o consumo energético do edifício. Os resultados obtidos para o desempenho térmico foram que os ambientes simulados pelo programa apresentaram temperaturas entre 23,7°C e 33,3°C, com estes dados foi possível verificar a quantidade de horas e representatividade (%) anual em que os ambientes estão dentro dos padrões estabelecidos pela ISO 9241/2011 e da NR 17.

A NBR 16401 (2008) é uma revisão que cancelou e substituiu a antiga NBR 6401 de 1980, focada no projeto de instalações de ar-condicionado (parte 1), nos parâmetros de conforto térmico em ambientes condicionados (parte 2) e na qualidade do ar interior (parte 3). A norma é bastante detalhada aos parâmetros de conforto térmico em espaços internos. A norma se baseia fundamentalmente no ASHRAE Handbook Fundamentals de 2005 (ASHRAE, 2005) e define temperaturas internas

que variam de 22,5 °C a 25,5 °C (para umidade relativa de 65 %), e 23,0 °C a 26,0 °C (para umidade relativa de 35%).

Segundo o *Department of Energy U.S.* (2022), a base para a integração do sistema de zona e ar é formular balanços de energia e umidade para a zona de ar e assim resolve-se as equações diferenciais ordinárias resultantes usando um preditor-corretor de aproximação. A formulação do esquema de solução começa com um balanço de calor no ar da zona, como ilustra a Equação 1:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z) + \dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + \dot{Q}_{sys} \quad (1)$$

Onde:

$C_z \frac{dT_z}{dt}$ = energia armazenada na zona de ar em ocorrências similares;

$\sum_{i=1}^{N_{sl}} \dot{Q}_i$ = soma das cargas internas convectivas;

$\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$ = transferência de calor por convecção das superfícies para as zonas;

$\sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$ = transferência de calor devido à mistura de ar entre zonas;

$\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$ = transferência de calor devido à infiltração de ar externo;

\dot{Q}_{sys} = sistemas de saída de ar;

$C_z = \rho_{air} C_p C_t$;

ρ_{air} = densidade do ar na zona;

C_p = calor específico do ar na zona;

C_t = multiplicador de capacidade de calor sensível.

METODOLOGIA

O experimento numérico tem como base as plantas do projeto da casa popular fornecida pela Caixa Econômica Federal, e é realizado na cidade de Belém-PA, sobre arquivos climáticos, compilados no ano de 2022, do projeto *International Weather for Energy Calculations* (IWECC) criado pela ASHARE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) é disponibilizado na página da internet do *EnergyPlus*. Serão realizadas duas simulações, uma seguindo rigorosamente os

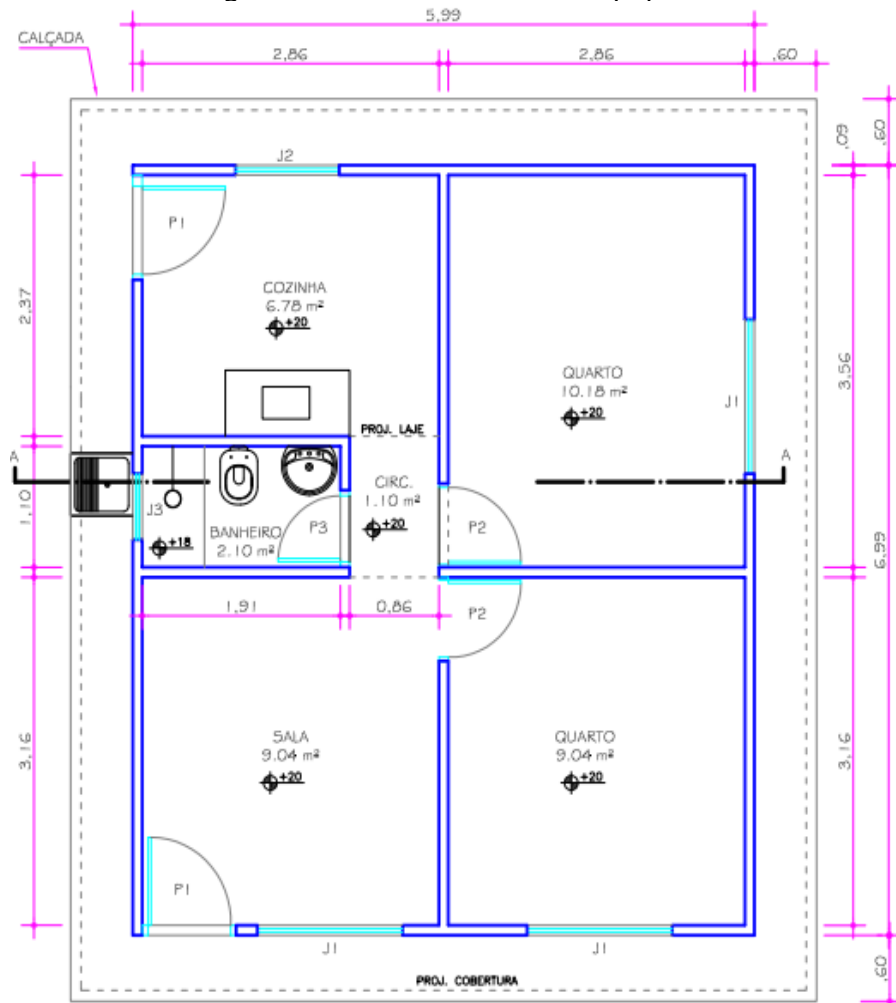
materiais e dimensões do projeto original, e a outra substituindo os materiais construtivos que tem maior condutividade térmica, o bloco de concreto das paredes (por tijolo cerâmico) e a janela de alumínio (por janelas de madeira), visando alcançar melhorias no conforto térmico.

Foram usados três *softwares* neste trabalho: O *EnergyPlus*, que resolve as equações de balanço térmico para a edificação simulada, e gera os resultados da temperatura interna do ar e umidade relativa do ar; o *SketchUp*, no qual o desenho arquitetônico do edifício é desenvolvido; e o *Openstudio*, que interliga o *SketchUp* ao *EnergyPlus*, e que oferece uma interface mais dinâmica para a entrada e saída de dados, otimizando o estudo.

A Caixa Econômica Federal apresenta este material a título de sugestão. Como cada edificação a ser construída a partir deste material atenderá a realidades distintas, quando a Administração Pública optar por utilizar esta planta baixa, a proposta deverá ser revisada e ajustada por um profissional habilitado que deverá revisar o sistema estrutural a ser utilizado e as partes complementares necessárias à implantação das edificações, como muros de arrimo e ou terraplanagem.

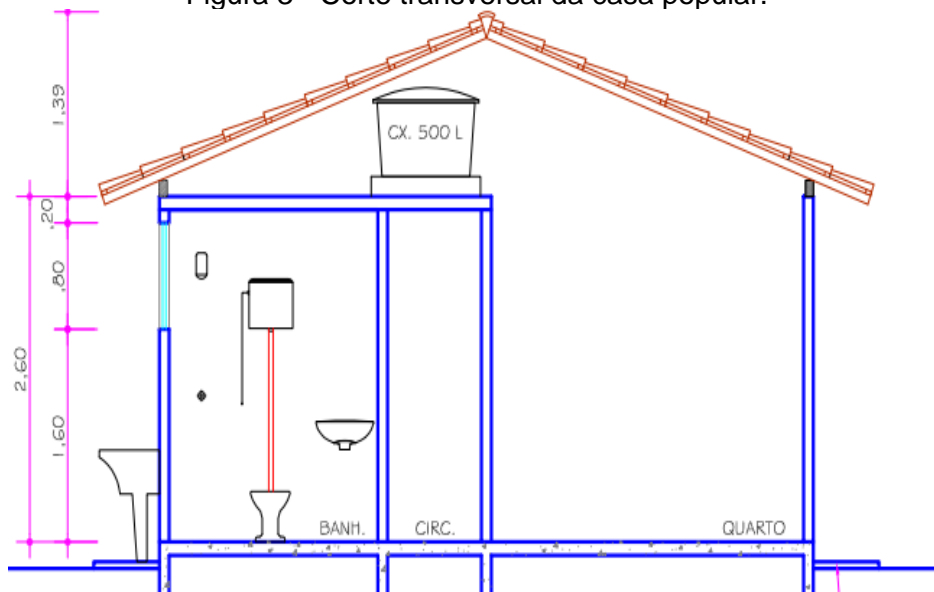
Abaixo encontra-se a planta baixa com suas dimensões métricas (Figura 2 e 3), a perspectiva da casa popular (Figura 4), os materiais e suas dimensões (Tabela 1), os dados térmicos dos materiais construtivos (Tabela 2) e algumas informações construtivas fornecidas pelo programa governamental e pela Caixa Econômica Federal.

Figura 2 - Planta baixa da casa popular.



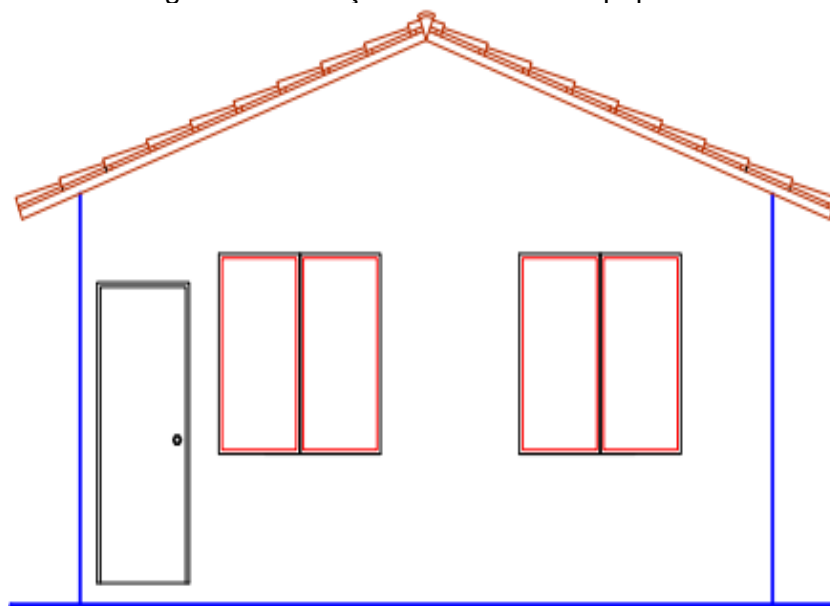
Fonte: Caixa Econômica Federal, (2007).

Figura 3 - Corte transversal da casa popular.



Fonte: Caixa Econômica Federal, (2007).

Figura 4 - Elevação frontal da casa popular.



Fonte: Caixa Econômica Federal, (2007).

Tabela 1 – Materiais construtivos da casa popular.

PISO

- Lastro de Concreto – deverá ser executado lastro de concreto para contrapiso
- FCK 10 Mpa, na espessura de 6cm;
- Piso cimentado, com 2,5cm de espessura, executado em argamassa de cimento e areia.
- Piso cerâmico esmaltado, linha popular 33x33cm PEI 3.

COBERTURA

- Telhas cerâmicas tipo PLAN, sobre estrutura de madeira de lei.

ALVENARIA

- Painéis de blocos de concreto (9x19x39cm), assentados com argamassa de cimento, cal e areia 1:0,5:8.

REVESTIMENTOS

- Chapisco com argamassa de cimento e areia espessura de 0,5 cm e reboco tipo paulista com argamassa de cimento, cal e areia, espessura de 2,0 cm nas paredes internas, externas e no teto da laje do banheiro.
- Pintura Látex PVA, 2 demãos, sobre uma camada de selador nas paredes internas e teto da laje do banheiro, pintura Látex acrílica em duas demãos sobre uma camada de selador para as paredes externas.

PORTAS E ESQUADRIAS

- Portas de madeira de lei P1 (0,8 x 2,1 m), P2 (0,7 x 2,1 m) e P3 (0,6 x 2,1 m)
- Janelas de alumínio, J1 (1,4 x 1,4 m), J2 (1 x 1,2 m) e J3 (0,6 x 0,8 m)
- Vidro fantasia canelado 4mm.

Fonte: Caixa Econômica Federal, (2007).

Tabela 2 – Propriedades térmicas dos materiais.

Material	Espessura (m)	Condutividade e Térmica (W/mK)	Densidade Equivalente (Kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)
Piso cerâmico	0,01	0,9	1600	920
Argamassa de assentamento	0,025	1,15	1600	1000
Reboco de argamassa	0,025	1,15	1800	1000
Laje de concreto	0,06	1,75	2200	1000
Telha cerâmica	0,02	0,7	1000	920
Textura acrílica	0,001	0,4	1300	1000
Madeira para cobertura	0,01	0,29	1000	1340
Porta de madeira	0,035	0,29	1000	1340
Bloco de concreto	0,09	1,75	2200	1000
Vidro Comum	0,004	1,0	2500	840
Janelas de Alumínio	0,02	230	2700	880
Tijolo cerâmico	0,09	0,9	1300	920
Janela de madeira	0,02	029	1000	1340

Fonte: Projeto 02:135.07-001/2. Desempenho térmico de edificações, Rio de Janeiro, 2003.

Abaixo é expresso o processo básico da simulação e as funcionalidades de cada aba no *Openstudio*.

A usabilidade da interface do *EnergyPlus* é difícil de ser manipulada, e por conta disso vincula-se a ele o *software OpenStudio*, para facilitar a operação de suas funcionalidades e para atuar como um gerenciador entre ele e o *SketchUp*.

Na aba *site* do *Openstudio* adiciona-se o arquivo climático no formato IWECC, onde estão contidas as informações climáticas da cidade. Na mesma aba definem-se

as datas de análise, como ano, meses e dias. No caso, o ano definido foi o ano de 2022, com todos seus meses e dias.

Uma das principais abas do *Openstudio* é a aba *constructions*, onde adicionam-se dados referentes aos materiais construtivos da edificação, dados relacionados ao tipo de material, suas características térmicas e métricas, para então configurar itens específicos do edifício, como paredes, piso e telhado, e qual destes itens está em contato com determinado espaço do ambiente, o que permite montar o padrão construtivo da edificação de acordo com suas características.

Na aba *geometry*, pode-se visualizar o desenho arquitetônico feito no *SketchUp*, que ilustra as zonas térmicas selecionadas em cada cômodo, assim como quais partes estão em contato com o solo, com radiações solares, com a ventilação do ambiente, além de ter uma visão ampla da estrutura.

A aba *facility* tem como principal função facilitar o entendimento do *Openstudio* em relação às características do ambiente como um todo, onde insere-se o padrão construtivo aplicado na aba *constructions*, entre outras funcionalidades.

Na aba *spaces* inserem-se os arquivos padrão de cada local criado e especificado. Nessa aba também é possível modificar áreas de contatos que podem estar incorretas, entre outras funcionalidades.

Na aba *Thermal zones* inserem-se padrões que podem estar presentes na estrutura como infiltrações, aquecimento, resfriamento, entre outros, por meio de arquivos padronizados dentro do próprio *Openstudio* ou modelos criados no *software*.

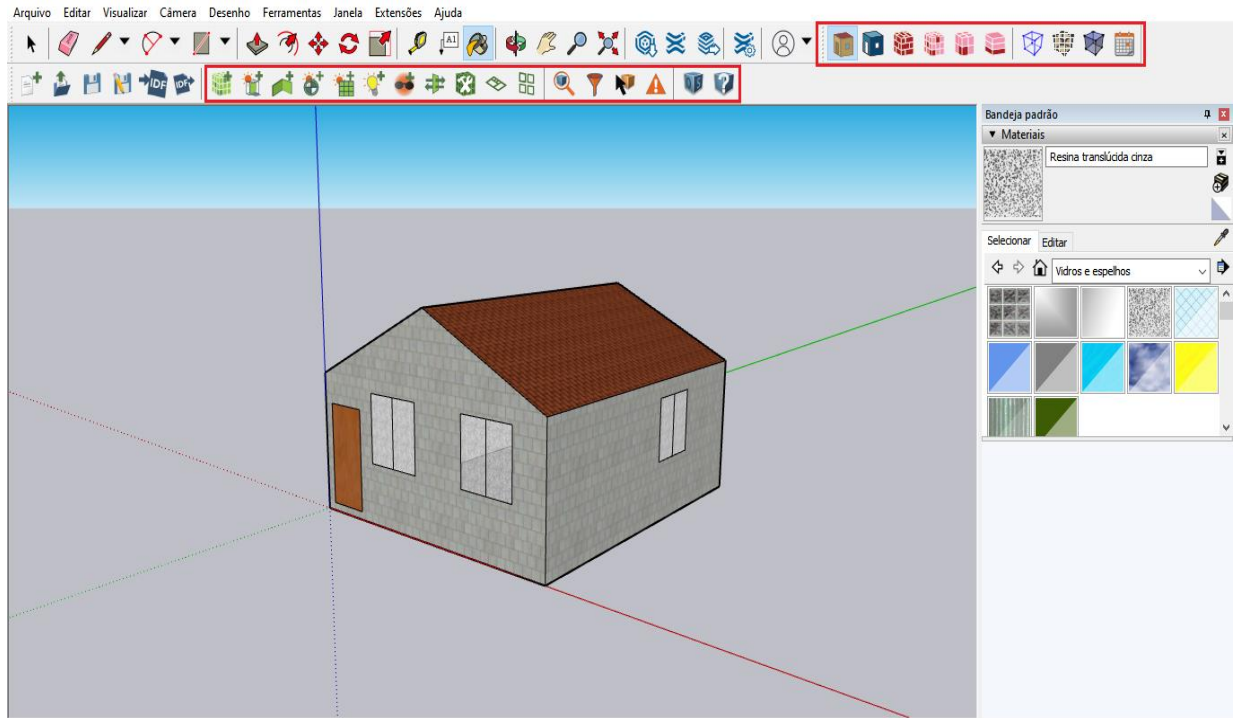
Na aba *output variables*, selecionam-se as variáveis de saída, de um leque de opções onde estão pré-selecionadas variáveis sugeridas pelo próprio *software*. Neste trabalho, foram selecionadas variáveis de saída, a temperatura interna do ar (*zone air temperature*) e a umidade relativa interna do ar (*zone air relative humidity*) da edificação estudada.

Nas abas *run simulation* e *results summary* inicia-se a simulação e mostram-se os resultados que foram convertidos em tabelas e figuras.

Na Figura 5 mostra-se a casa popular desenhada no *SketchUp* conforme os parâmetros definidos pelo programa Minha Casa Minha Vida. Observa-se também na figura, botões adicionais (destacados em moldura na cor vermelha) referentes a um plugin externo, que vincula o *SketchUp* ao *Openstudio*, ao permitir a introdução de ferramentas iniciais do segundo, à interface do primeiro. Essas ferramentas permitem

definir padrões iniciais para o edifício, como atributos, zonas térmicas adicionais, no caso de análises sobre cômodos separados, entre outras funcionalidades.

Figura 5 - Desenho da casa popular no *SketchUp*.



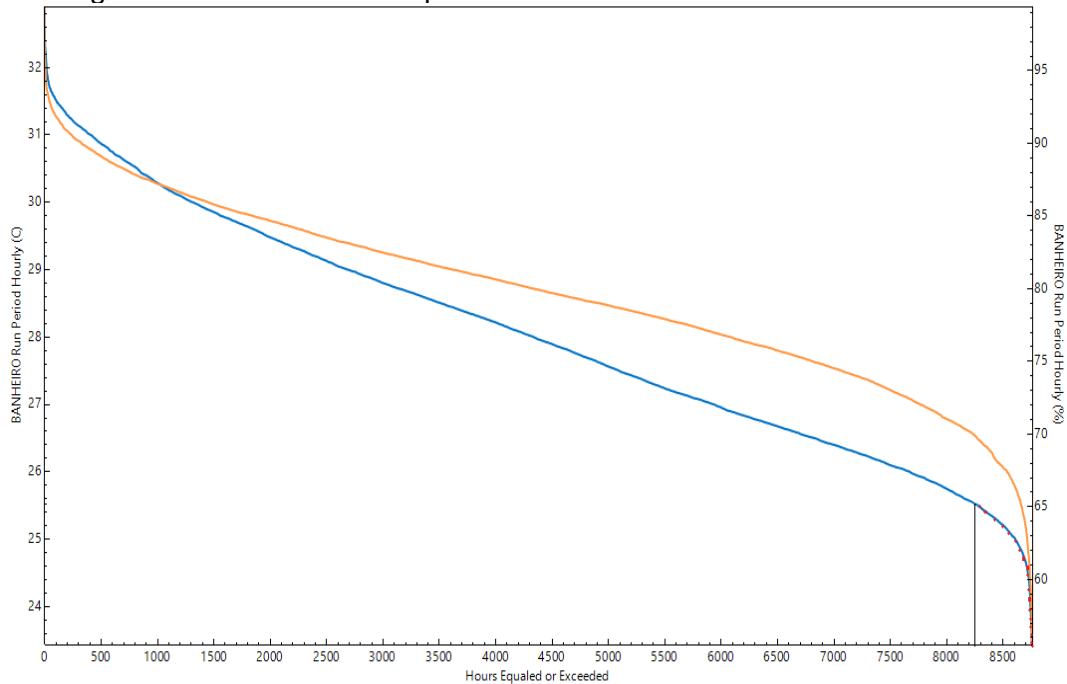
Fonte: Autor, (2023).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos que são referentes a temperatura interna do ar e umidade relativa interna em cada cômodo com os materiais originários da planta baixa do programa governamental, com isso é gerado a curva de duração em horas onde é realizado a análise de conforto térmico com base na NBR 16401 para o ano de 2022.

Percebe-se na Figura 6 que a umidade (linha laranja) no banheiro vai de 55,51 % a 99,37 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de conforto térmico entre 22,5 °C a 25,5 °C da NBR 16401. A temperatura interna do banheiro (linha azul) vai de 23,43 °C a 32,89 °C, logo, o banheiro ficou dentro dos padrões de conforto térmico por 510 horas anuais de um total de 8.760 horas, representado com um traço na vertical e pontos vermelhos.

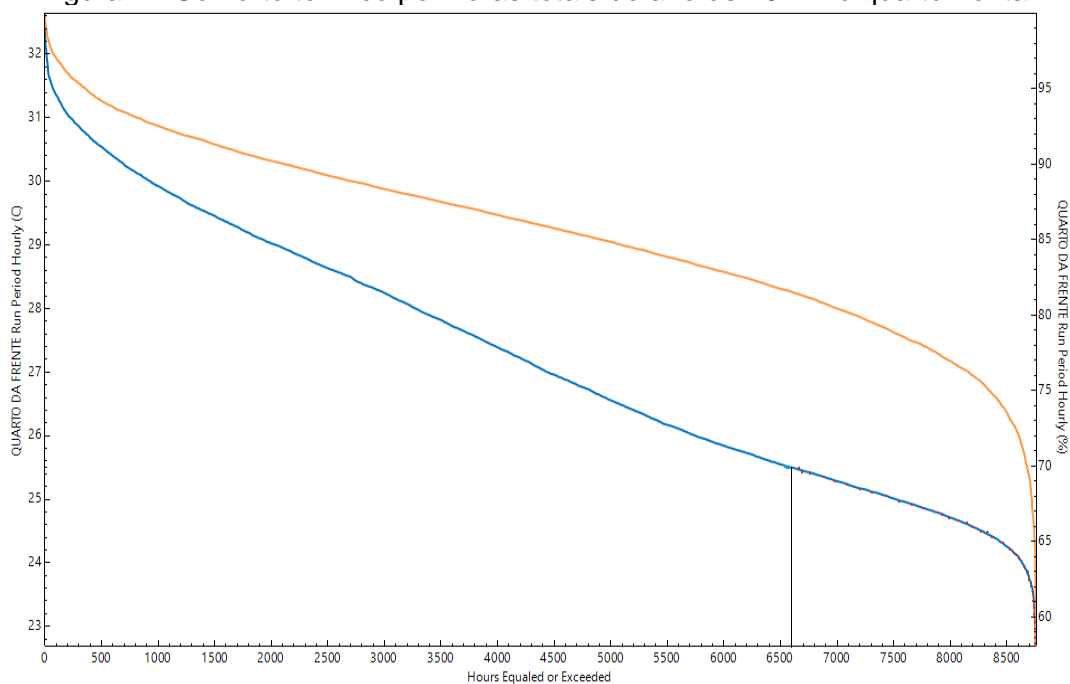
Figura 6 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no banheiro.



Fonte: Autor, (2023).

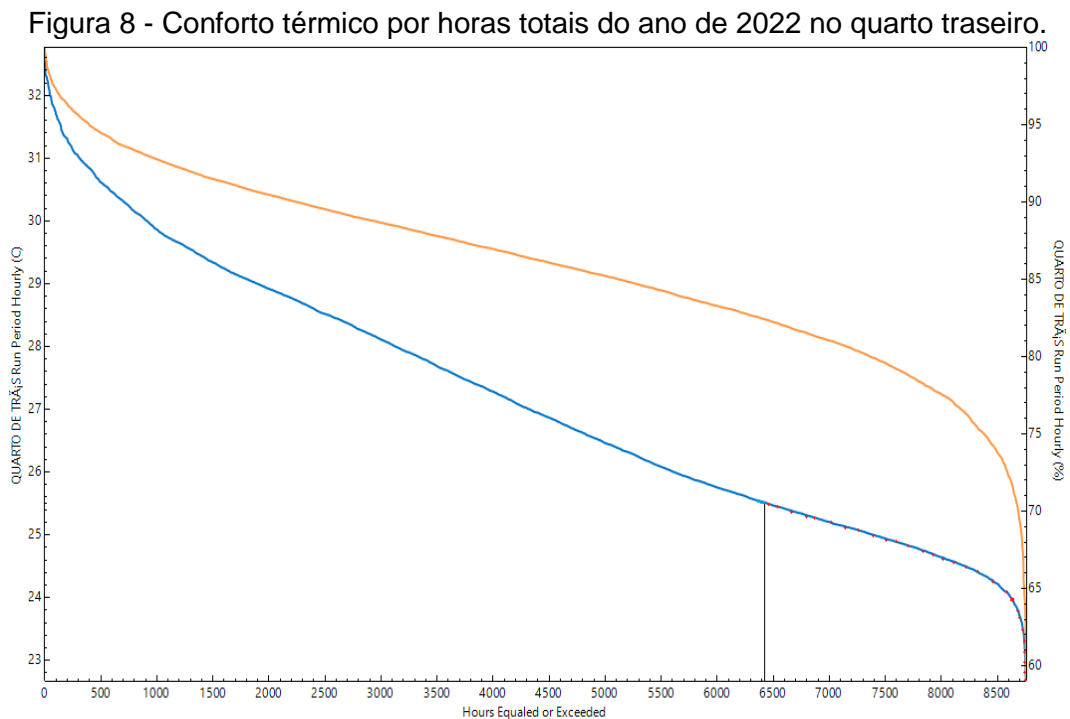
Nota-se na Figura 7 a umidade relativa (linha laranja) no quarto frontal vai de 58,07 % a 99,99 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 °C a 25,5 °C. A temperatura interna do quarto frontal (linha azul) vai de 22,69 °C a 32,64 °C, logo, o quarto frontal ficou dentro dos padrões de conforto térmico por 2.160 horas anuais de um total de 8.760 horas, representado com um traço na vertical e pontos vermelhos.

Figura 7 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 no quarto frontal.



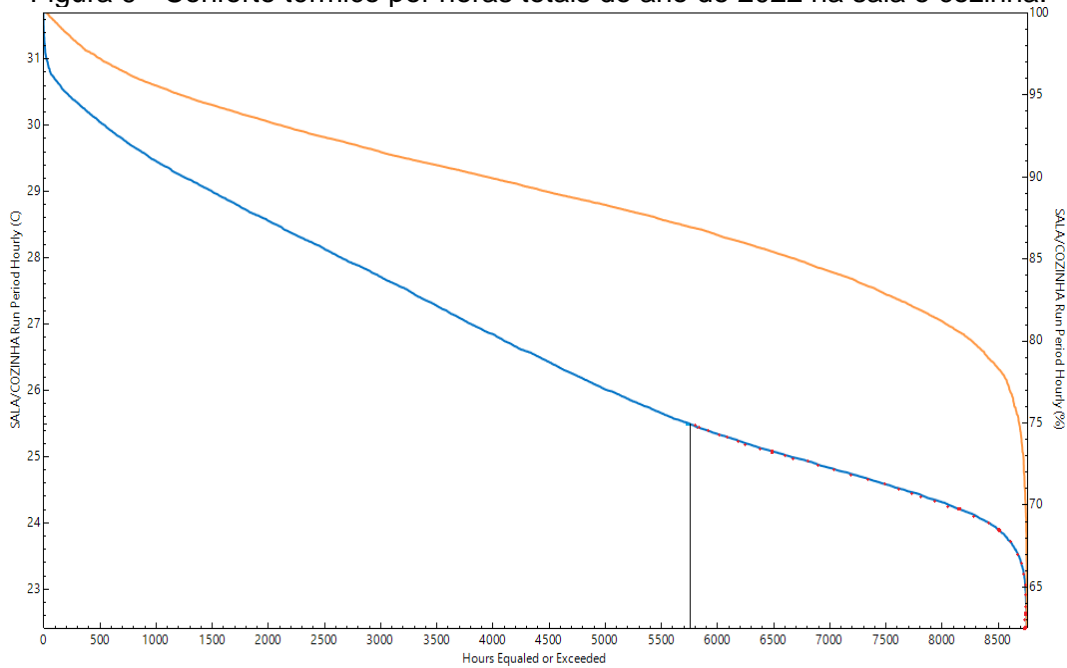
Fonte: Autor, (2023).

Nota-se na Figura 8 a umidade relativa (linha laranja) no quarto traseiro vai de 59 % a 100 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 °C a 25,5 °C da NBR 16401. A temperatura interna do quarto traseiro (linha azul) vai de 22,67 °C a 32,76 °C, logo, o quarto traseiro ficou dentro dos padrões de conforto térmico por 2.340 horas anuais de um total de 8.760 horas, representado com um traço na vertical e pontos vermelhos.



Nota-se na Figura 9 a umidade relativa (linha laranja) na cozinha e sala vai de 62,49 % a 100 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 °C a 25,5 °C da NBR 16401. A temperatura interna da sala e cozinha (linha azul) vai de 22,41 °C a 31,69 °C, logo, a sala e cozinha ficaram dentro dos padrões de conforto térmico por 3.010 horas anuais de um total de 8.760 h, representado com um traço na vertical e pontos vermelhos. Nota-se também que a temperatura mínima estipulada pela NBR 16401 é de 22,5 °C e a temperatura mínima resultante na simulação na sala e cozinha é de 22,41 °C, logo esses 0,09 °C de diferença do parâmetro da NBR 16401 foi considerado como dentro dos padrões térmicos, devido as horas medidas para essa mínima serem até mesmo imperceptíveis na própria curva de duração.

Figura 9 - Conforto térmico por horas totais do ano de 2022 na sala e cozinha.

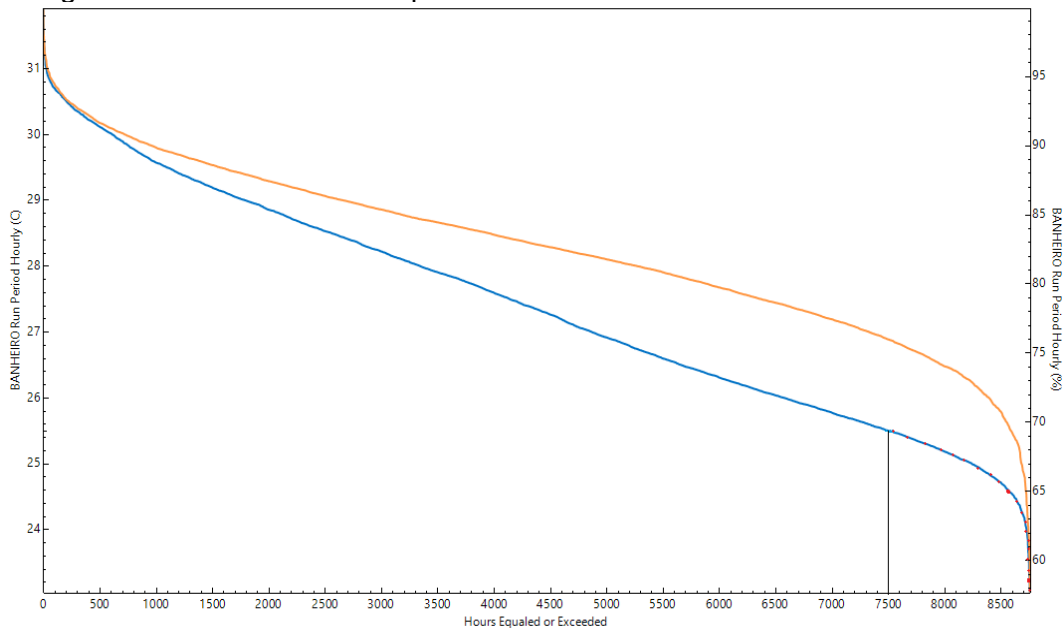


Fonte: Autor, (2023).

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos de simulações substituindo o bloco de concreto por tijolo cerâmico, e as janelas de alumínio por janelas de madeiras.

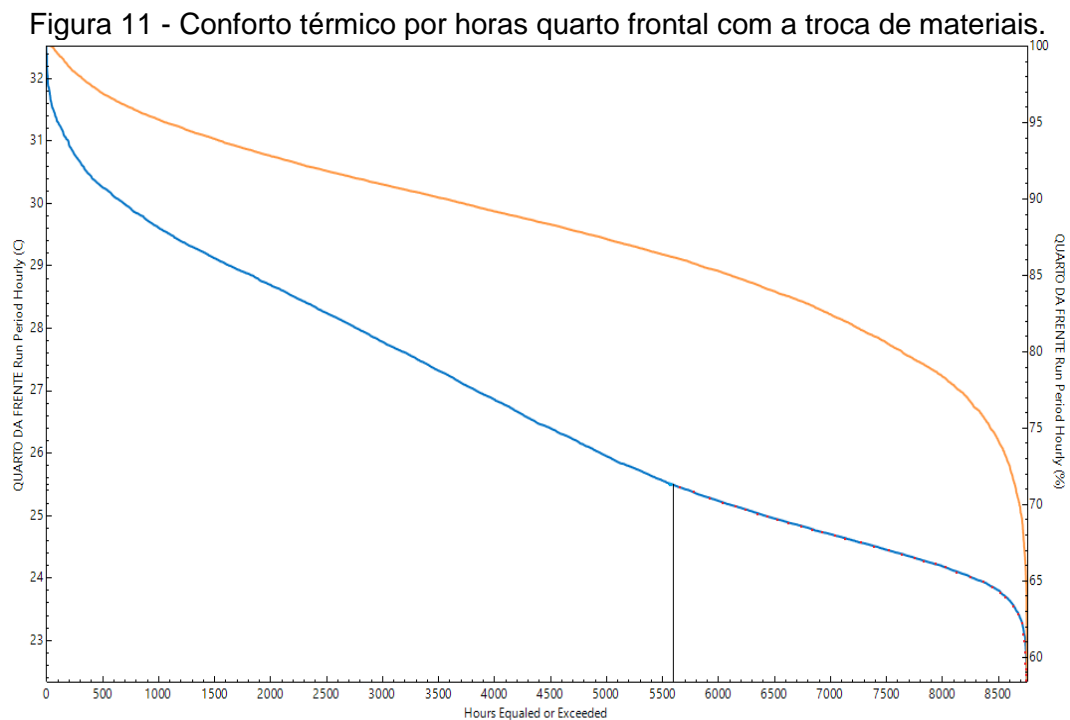
Na Figura 10 que a umidade (linha laranja) no banheiro vai de 57,66 % a 99,89 %. A temperatura interna do banheiro (linha azul) vai de 23,03 °C a 31,9 °C, logo, o banheiro ficou dentro dos padrões de conforto térmico por 1.260 horas.

Figura 10 - Conforto térmico por horas no banheiro com a troca de materiais.



Fonte: Autor, (2023).

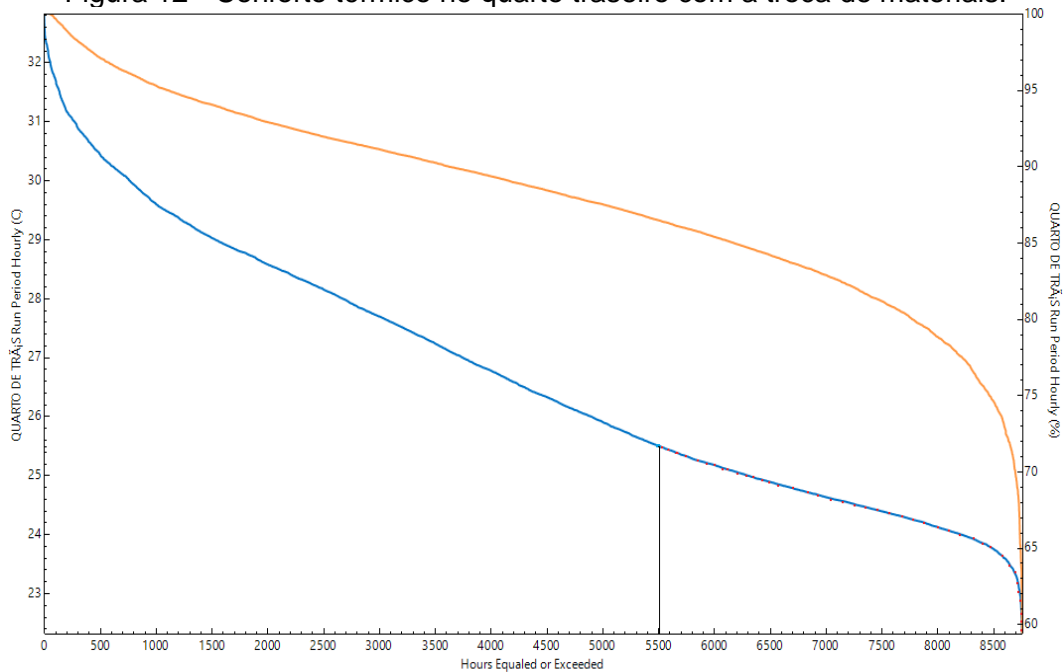
Nota-se na Figura 11 a umidade relativa (linha laranja) no quarto frontal vai de 58,39 %, a 100 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 °C a 25,5 °C. A temperatura interna do quarto frontal (linha azul) vai de 22,33 °C a 32,5 °C. Percebe-se que a temperatura mínima estipulada pela NBR 16401 é de 22,5 °C e a temperatura mínima resultante na simulação do quarto frontal é de 22,33 °C, logo esses 0,17 °C de diferença do parâmetro da NBR 16401 foi considerado como dentro dos padrões térmicos, devido as horas medidas para essa mínima serem imperceptíveis no próprio gráfico. Com isso, o quarto frontal ficou dentro dos padrões de conforto térmico por 3.160 horas anuais de um total de 8.760 horas, representado com um traço na vertical e pontos vermelhos.



Fonte: Autor, (2023).

Na Figura 12 a umidade (linha laranja) no quarto traseiro vai de 59,39 % a 100 %, portanto, utiliza-se o parâmetro de 22,5 °C a 25,5 °C da NBR 16401. A temperatura interna do quarto traseiro (linha azul) vai de 22,31 °C a 32,82 °C. Os 0,19 °C de diferença do parâmetro da NBR 16401 para a temperatura mínima foi considerado como dentro dos padrões térmicos. Com isso, o quarto traseiro ficou dentro dos padrões térmicos por 3.260 horas anuais. representado com um traço na vertical e pontos vermelhos.

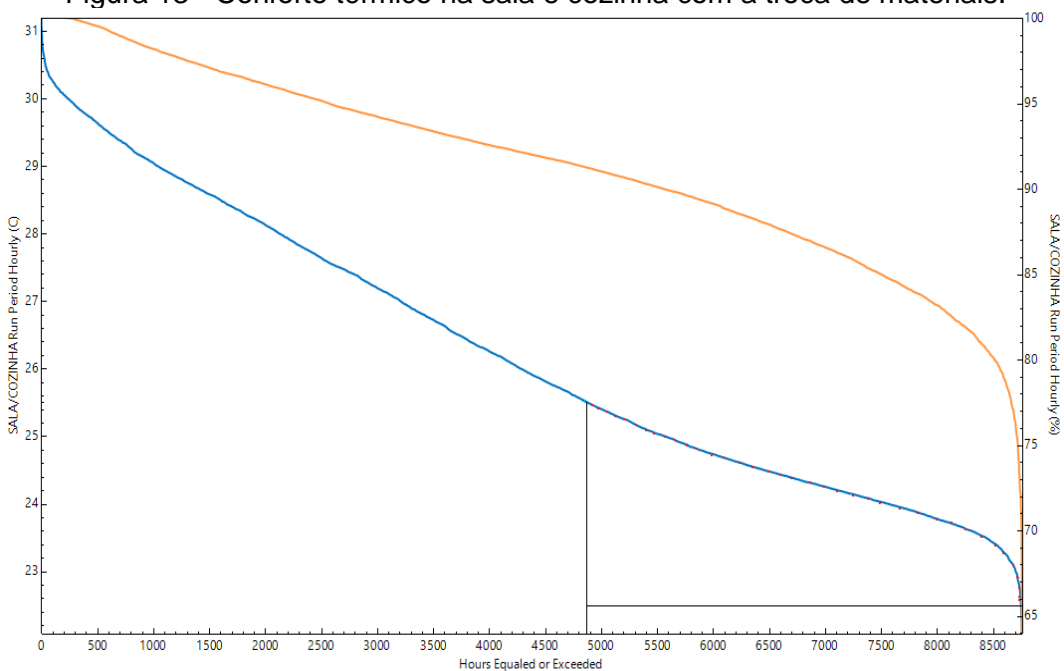
Figura 12 - Conforto térmico no quarto traseiro com a troca de materiais.



Fonte: Autor, (2023).

Nota-se na Figura 13 a umidade relativa (linha laranja) na cozinha e sala vai de 63,97 % a 100 %. A temperatura interna da sala e cozinha (linha azul) vai de 22,08 °C a 31,19 °C, logo, a sala e cozinha ficaram dentro dos padrões de conforto térmico por 3.820 horas anuais, representado com um traço na vertical e horizontal e pontos vermelhos.

Figura 13 - Conforto térmico na sala e cozinha com a troca de materiais.



Fonte: Autor, (2023).

A troca dos materiais propostos na própria planta baixa se dá com o objetivo de diminuir a temperatura interna do ar na casa popular e consequentemente aumentando o período em horas anuais de conforto térmico na casa.

No banheiro com os materiais originários da planta baixa o conforto térmico ficou em 510 horas do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 1.260 horas.

No quarto frontal com os materiais propostos pela própria planta baixa o conforto térmico ficou em 2.160 horas do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.160 horas.

No quarto traseiro com os materiais tradicionais da planta baixa o conforto térmico ficou em 2.340 horas do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.260 horas.

Na sala e cozinha com os materiais da planta baixa o conforto térmico ficou em 3.010 horas do ano de 2022, com a troca de materiais o conforto térmico alcançou 3.820 horas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento numérico apresentado neste trabalho simulou sob a perspectiva do desempenho térmico estrutural, uma moradia popular, destinada a famílias de baixa renda. Por se tratar de um projeto relativamente novo aprimoramentos devem ser constantes visando a melhoria de vida dos moradores. O estudo realizado mostra que uma única planta baixa e seus materiais construtivos não são viáveis para todas as regiões do Brasil, pois cada região possui características climatológicas específicas, onde os mesmos materiais utilizados no sul do Brasil podem causar um grande desconforto no Norte.

Na primeira simulação utilizou-se o padrão dimensional e construtivo da planta baixa resultando em uma temperatura interna do ar no banheiro com uma média anual de 28,02 °C, mínima de 23,43 °C, máxima de 32,89 °C e um desvio padrão de 1,6 °C. Uma temperatura média anual no quarto frontal de 27,25 °C, mínima de 22,69 °C, máxima de 32,64 °C e um desvio padrão de 1,99 °C. Uma temperatura média anual no quarto traseiro de 27,18 °C, mínima de 22,67 °C, máxima de 32,76 °C e um desvio padrão de 2,03 °C. Uma temperatura média anual na sala e cozinha de 26,76 °C, mínima de 22,41 °C, máxima de 31,69 °C e um desvio padrão de 1,96 °C.

Na segunda simulação onde ocorreu a troca do bloco de concreto e janelas de alumínio por tijolo cerâmico e janela de madeira, o banheiro apresentou uma temperatura média anual de 27,39 °C, uma mínima de 23,03 °C, máxima de 31,9 °C e um desvio padrão de 1,66 °C. O quarto frontal apresentou uma temperatura média anual de 26,77 °C, uma mínima de 22,33 °C, máxima de 32,51 °C e um desvio padrão de 2,1 °C. O quarto traseiro apresentou uma temperatura média anual de 26,73 °C, uma mínima de 22,31 °C, máxima de 32,82 °C e um desvio padrão de 2,15 °C. A sala e cozinha apresentam uma temperatura média anual de 26,23 °C, uma mínima de 22,08 °C, máxima de 31,19 °C e um desvio padrão de 2,01 °C.

Em ambas as simulações a sala e cozinha sempre apresentaram estar por mais horas dentro dos padrões de conforto térmico e o banheiro as menores horas em conforto térmico, os quartos tiveram temperaturas próximas umas das outras.

O levantamento financeiro com a troca de materiais não foi feito devido a planta não apresentar o quantitativo de blocos de concreto necessário em cada parede, mas estima-se uma redução de custos devido o bloco de concreto ser mais caro que o tijolo cerâmico de acordo com o catálogo de preços da C&C (casa e construção).

Com a substituição de materiais, o banheiro aumentou seu conforto térmico em 750 horas no ano de 2022. O quarto frontal aumentou seu conforto térmico em 1.000 horas. O quarto traseiro aumentou seu conforto térmico em 1.480 horas. A sala e cozinha aumentaram seu conforto térmico em 810 horas.

A escolha dos componentes construtivos de uma edificação é de fundamental importância, principalmente em locais caracterizados pelo clima quente e seco. Diante de tais características, o uso da inércia térmica se apresenta como uma das principais estratégias de condicionamento passivo durante o verão, uma vez que a capacidade térmica dos materiais pode ser usada para reduzir a produção de calor interno durante o dia. A ventilação seletiva também é uma estratégia recomendada. Através do uso dessa estratégia, o movimento do ar é reduzido nos períodos quentes do dia e os ventos são captados à noite, quando a temperatura do ar é menor, contribuindo para o resfriamento da estrutura (MACIEL, 2002).

O objetivo dessa pesquisa foi alcançado, pois foi possível expressar através do uso do *Energyplus*, *Openstudio* e *SketchUp* a viabilidade de simular e gerar resultados sobre o desempenho térmico de uma edificação, mostrando que a aplicação de elementos construtivos confeccionados com materiais alternativos na edificação

resultou em melhores resultados de conforto térmico, em detrimento da aplicação de elementos construtivos tradicionais.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-1 - Instalações de ar-condicionado - sistema centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-2 - Instalações de ar-condicionado - sistema centrais e unitários, parte 2: Parâmetros de conforto térmico. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto 02:135.07-001/2: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações, set de 2003.

ARQUIVOS CLIMÁTICOS DA CIDADE DE BELÉM-PA, 2023. Weather Data by country. South America (WMO Region 3) – Brazil. Disponível em: https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/BRA. Acesso em: 1 de novembro de 2022.

ASHRAE, Fundamentals Handbook. Atlanta. 2021.

BORGES, L. S. Simulação numérica da temperatura do ar em um edifício com materiais construtivos alternativos. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

BRISOLA C. O. Análise dos dados meteorológicos da cidade de Belém-PA. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

BRITO, A. C. SALES, E. M., CASTRO, G. M. AKUTSU. M. Análise da resposta do programa EnergyPlus para simulação do comportamento térmico de recinto com materiais de mudança de fase. Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade, São Paulo, SP, 2015.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Cadernos CAIXA Projeto padrão – casas populares 42m² GIDUR/VT. Vitória - ES. janeiro de 2007. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/Downloads/banco-projetos-projetos-HIS/casa_42m2.pdf/. Acesso em: 29 de Dez de 2022.

C&C. Preços de tijolos cerâmicos e blocos de concreto. disponível em: <https://www.cec.com.br/material-de-construcao/blocos-e-tijolos/>. Acesso em: 16/01/2023.

DEPARTMENT OF ENERGY. U.S. Engineering Reference. Estados Unidos, 2022.

ENERGYPLUS. Versão 22.2.0. Disponível em: <https://energyplus.net/>. Acesso em: 29 Dez. 2022.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. Manual de Conforto Térmico. 5a edição. Studio Nobel. São Paulo, 2001.

GOMES, G. F. N. Análise sobre desempenho térmico estrutural. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

GOOGLE MAPS. Casas do conjunto habitacional Juritis em Benevides-PA. Disponível em: <<https://www.google.com/maps/place/Conjunto+Habitacional+Juritis/@-1.3474227,-48.242982,18.5z/data=!4m5!3m4!1s0x0:0x705e2fbc0cf52c20!8m2!3d-1.3466291!4d-48.24227/>>. Acesso em: 14/12/23.

MACIEL, A. (2002). Projeto bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios. Dissertação. 138f. Mestrado em Engenharia Civil. Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC, Santa Catarina, Brasil.

NOBRE, J. C. A. Análise e Simulação Numérica sobre Desempenho Térmico Estrutural em um Auditório Utilizando o Software Energyplus. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

NOBRE, J.C.A. ; SOUSA, D.L.P ; RIBEIRO, F.S. ; ANDRADE, L.C.F. “Simulação Computacional

Sobre Desempenho Térmico em uma Residência Conjunta Localizada em Ananindeua-PA”. The Journal of Engineering and Exact Sciences, Estado do Pará, v.8, n.5, (pg 1-14), Abril, 2022.

OPENSTUDIO v3.3.0. Disponível em: <https://openstudio.net/>. Acesso em: 22 de dezembro de 2022.

ONU. Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/>. Acesso em 4 de maio de 2023.

PARSONS K. 2014. Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance. 1 ed. CRC press. 545p.

SILVA, M. G. Geração de perfis climáticos sobre radiação solar e temperatura do ar em Belém do Pará. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

SIQUEIRA, P. M. Análise sobre desempenho térmico em duas capitais brasileiras. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

SOUSA, D. L. P. Análise do Desempenho Térmico de um Edifício utilizando o Software Energyplus. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Pará, Estado do Pará, 2022.

SOUSA, D.L.P ; NOBRE, J.C.A. ; ANDRADE, L.C.F. “Análise Térmica de Bases de Dados Climáticos da Cidade de Belém-PA”. The Journal of Engineering and Exact Sciences, Estado do Pará, v.8, n.3, (pg 1-12), Maio de 2022.

SKETCHUP. Versão 19.0.685. Disponível em: <https://www.sketchup.com/pt-BR>. Acesso em: 20 dez de. 2022.

TAYLOR, R. D., C.O. PEDERSEN, L.K. LAWRIE. 1990. Simultaneous Simulation of Buildings and Mechanical Systems in Heat Balance Based Energy Analysis Programs, Proceedings of the 3rd International Conference on System Simulation in Buildings, Liege, Belgium, December 3-5, 1990.

TOLEDO, L. C.; VRCIBRADIC, P.; NATIVIDADE, V. Repensando as Habitações de Interesse Social. Rio de Janeiro: Letra Capital, 2014.



Capítulo 5
ANÁLISE DA VIABILIDADE DO MÉTODO DA
MATURIDADE ATRAVÉS DOS ENSAIOS DE
COMPRESSÃO DO CONCRETO

Vanessa Oliveira da Silva
Ana Caroline Pereira Nolasco

ANÁLISE DA VIABILIDADE DO MÉTODO DA MATURIDADE ATRAVÉS DOS ENSAIOS DE COMPRESSÃO DO CONCRETO

Vanessa Oliveira da Silva

*Especialista em Infraestrutura dos Transportes e Rodovias; Engenheira Civil, Email:
vanessaeng123@gmail.com;*

Ana Caroline Pereira Nolasco

*Professora Substitua da UEMASUL, Especialista em Engenharia Ferroviária;
Engenharia Civil;
Email: carolnolascoengcivil@gmail.com*

RESUMO

Este trabalho objetivou analisar os ganhos de resistência do concreto nas idades iniciais, através dos ensaios de compressão de cilíndricos de concreto, em conformidade com a norma da ABNT NBR 5739, a fim de avaliar a viabilidade do método da maturidade do concreto com estes resultados. Na metodologia, foram moldados 24 testemunhos de acordo com a normativa da ABNT NBR 5738, com coleta de concreto proveniente de duas obras localizadas em Imperatriz-MA. Essas amostras foram moldadas com concreto de mesma resistência, apesar de serem oriundas de obras diferentes. Para a realização do ensaio de compressão, as amostras foram submetidas ao rompimento nas idades precoces (3,7 e 14 dias) no laboratório, utilizando-se prensa manual com controle digital. Os resultados demonstraram que os corpos de prova apresentaram resistência satisfatória para as primeiras idades, de tal modo que permite ao responsável pela obra tomar decisões com mais segurança e assertividade nas etapas mais críticas como: remoção do escoramento e cimbramento; liberação da prova de carga de estaca; protensão de laje e outros. Portanto, este estudo nos traz uma análise análoga aos resultados dos ensaios destrutivos quanto as vantagens quando aplicado o método não destrutivo, como o da maturidade do concreto.

Palavras-chave: Ganhos de resistência, idades iniciais, corpos de prova, obra.

ABSTRACT

This work aimed to analyze the strength gains of concrete at initial ages, through the compression test of cylindrical concrete specimens,

in accordance with the ABNT NBR 5739 standard, in order to evaluate the feasibility of the concrete maturity method with these results. In the methodology, 24 specimens were molded according to the ABNT NBR 5738 regulation, with concrete collection from two works located in Imperatriz-MA. These samples were cast with concrete of the same strength, despite being from different works. To carry out the compression test, the samples were subjected to rupture at early ages (3.7 and 14 days), in the laboratory using a manual press with digital control. The results showed that the samples presented satisfactory resistance for the initial ages, in such a way that it allows the person responsible for the work to make decisions with more security and assertiveness in the most critical stages, such as: removal of shoring and scaffolding; stake load proof release; slab prestressing and others. Therefore, this study brings us an analysis analogous to the results of destructive tests regarding the advantages when applying the non-destructive method, such as the maturity of the concrete.

Keywords: Endurance gains, early ages, proof bodies, constructions.

INTRODUÇÃO

O conceito de resistência do concreto está relacionado à sua capacidade de garantir a estabilidade das estruturas quando o elemento concretado atinge o seu estado de rigidez. No entanto, para assegurar que o concreto aplicado em obra atenda ao F_{ck} - Feature Compression Know, em português significa resistência característica do concreto à compressão, estabelecido no projeto estrutural, torna-se necessário realizar ensaios para caracterização do concreto.

Os níveis de resistência à compressão alcançados pelo concreto é um dos principais motivos para a sua grande utilização, sem deixar de lado o seu custo de produção, que comparado com outros materiais leva uma vantagem muito grande. (Helene & Terzian, 1992).

Apesar das várias técnicas para caracterização do concreto, ainda são evidenciadas divergências quanto as amostras e os resultados in loco, pois os corpos de prova representam apenas um exemplar do elemento concretado (lajes, pilares, blocos e outros) mantidos em condições de cura até o dia do rompimento, enquanto in loco se encontra exposto às intempéries.

A variabilidade da resistência à compressão do concreto pode ser consequência de diversos fatores e, dentre estes, encontram-se a variação entre os materiais constituintes da mistura, mudanças na produção e no lançamento do

concreto, a inconstância na coleta da amostra, e também, a variabilidade referente ao próprio ensaio (Neville & Brooks, 2013).

Durante a execução da construção, o concreto fica sujeito a várias condições que podem comprometer sua propriedade de resistência à compressão na estrutura, desde a composição, aplicação e cura. Com base no princípio de compatibilizar e obter informações mais assertivas sobre o concreto utilizado na estrutura, o método da maturidade tem se tornado uma solução viável.

O método da maturidade do concreto é um ensaio não destrutivo, baseado na relação entre a temperatura e o tempo de cura, que são medidas da evolução da resistência ao longo do tempo. Essa técnica é preconizada pela Norma Americana ASTM C1074-11. Segundo (Santos, Aguilar & Chalud, 2021), neste método é onde o concreto monitorado in loco e submetido aos cálculos definidos pela norma, apresentará resultados de resistência à compressão.

O método da maturidade baseia-se na premissa de que, a partir do tempo de hidratação do cimento na estrutura, é possível atingir o grau de maturidade necessário. Em razão do calor gerado pela reação de hidratação, que é considerado um aumento de temperatura no concreto, entende-se que a hidratação no elemento concretado é superior à do testemunho moldado.

Quando falamos sobre resistência do concreto significa dizer que o mesmo atingiu sua rigidez e possui capacidade para suportar cargas ou forças sem sofrer falhas ou deformações excessivas. Conforme Selegin (2013), a resistência à compressão é uma das mais importantes propriedades do concreto, pode-se dizer que ela está diretamente ligada às proporções dos elementos que o constituem, por esta razão sua principal propriedade está correlacionada com: fator água/cimento, idade do concreto e cura.

Considerando a importância de identificar a resistência do concreto nas idades iniciais, a fim de tomar decisões mais assertivas na etapa mais crítica da construção, torna-se necessário realizar ensaios, sejam eles “destrutivos” ou “não destrutivos”.

Para a correlação destes ensaios, foram utilizados os corpos de provas moldados com concreto de uma mesma resistência, coletados de duas obras localizada em Imperatriz-MA, aplicando a técnica do ensaio de compressão axial em laboratório normatizado pela NBR 5739. Sendo este procedimento a prática mais usada no Brasil, trata-se do ensaio destrutivo realizado em laboratório que consiste na aplicação de uma força axial exercida sobre o cilindro moldado, isso quer dizer que

o valor da força exercida no momento da ruptura é equivalente à resistência mecânica do concreto.

Portanto, este trabalho objetiva identificar e analisar os ganhos de resistência nas idades iniciais do concreto, obtidos por meio dos ensaios de compressão. O propósito é avaliar a viabilidade de aplicação do método da maturidade do concreto, com base nos resultados desses ensaios.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho, foram moldados 24 testemunhos de acordo com as normativas da ABNT NBR 5738, com concreto usado em uma obra predial denominada Obra 1 e uma obra hospitalar denominada como Obra 2, as mesmas foram nomeadas dessa maneira a fim de manter a ética diante dos resultados obtidos, ambas localizadas em Imperatriz-MA, o traço do concreto das obras possui a mesma resistência, no entanto, com dosagens diferentes.

Tabela 1. Traço do concreto aplicado na Obra 1.

CONCRETO FCK 30,0 MPA - OBRA 1	
MATERIAIS APLICADOS	QUANTIDADE POR M ³
Cimento CP II E32	400 kg
Água	200 litros
Seixo 0	1.012 kg
Areia Natural Média	740 kg
Aditivo retardador	1,2 litros

Tabela 2. Traço do concreto aplicado na Obra 2.

CONCRETO FCK 30,0 MPA - OBRA 2	
MATERIAIS APLICADOS	QUANTIDADE POR M ³
Cimento CP II E32	340 kg
Água	165 litros
Brita 1	710 kg
Brita 0	305 kg
Areia Natural Média	829 kg
Aditivo retardador	1,3 litros

Com os corpos cilíndricos de concreto em moldes de 10cm de diâmetro e 20cm de altura, foram realizados ensaios de resistência à compressão conforme a ABNT NBR 5739, com a finalidade de analisar os resultados obtidos nas idades precoces (3,7 e 14 dias) e comparar com a aplicação do método da maturidade, para demonstrar as vantagens com sua utilização.

Após a moldagem, foram mantidos durante 24 horas nos moldes, em seguida a etapa de cura inicial, as amostras foram desmoldadas e identificadas. Posteriormente foram submetidos ao processo de cura por imersão em um tanque com água em temperatura ambiente até a data de rompimento. Foram rompidos com 3,7 e 14 dias a partir da data de moldagem.

Para os testes de compressão, utilizamos a prensa manual da Concreteira, que possui controle digital e determina em tf (tonelada força) a máxima compressão exigida até a ruptura do corpo de prova.

Os resultados obtidos, ou seja, os valores da resistência à compressão ensaiados dos testemunhos de concreto serão apresentados em forma de tabela de acordo com idade de rompimento e suas respectivas resistências, assim como o percentual atingido de acordo com cada idade de rompimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelos resultados obtidos, observa-se que apesar das obras apresentarem o mesmo FCK especificado em projeto, as resistências foram alcançadas em idades diferentes (Tabela 3 e 4).

Tabela 3. Resultados dos rompimentos de corpos de prova nas idades iniciais da Obra 1.

CP	IDADE (3 dias)	IDADE (7 dias)	IDADE (14 dias)	% de Resistência Atingida em 7 dias	% de Resistência Atingida em 14 dias
1	12,1 Mpa	16,7 Mpa	27,2 Mpa	56%	90,66%
2	13,1 Mpa	16,9 Mpa	28,31 Mpa	56,33%	94,36%

Tabela 4. Resultados dos rompimentos de corpos de prova nas idades iniciais da Obra 2.

CP	IDADE (3 dias)	IDADE (7 dias)	IDADE (14 dias)	% de Resistência Atingida em 7 dias	% de Resistência Atingida em 14 dias
1	19,61 Mpa	27,26 Mpa	31,87 Mpa	91%	103%
2	20,17 Mpa	30,76 Mpa	34,98 Mpa	103%	116,60%
3	22,77 Mpa	27,28 Mpa	33,63 Mpa	91%	112%

Observa-se neste estudo que os dados obtidos através do ensaio de compressão demonstram que nas idades iniciais é possível atingir resultado efetivo com 100% de aproveitamento em até 7 dias e em outras situações apresentam percentual com média de 90% de aproveitamento dentro da resistência atingida nos 14 dias.

Diante dos resultados nas tabelas 3 e 4, nota-se que mesmo a resistência do concreto das duas obras sendo a mesma prevista em projeto com f_{ck} de 30mpa, existem diversos fatores que podem contribuir para esta divergência de valores para as mesmas idades, como: transporte, heterogeneidade, adensamento, cura e outros.

Dentro dessa percepção, entendemos também que os corpos de provas avaliados são mantidos em condições de cura, quando na realidade o elemento concretado em obra se mantém exposto a umidade e a temperatura do ambiente a qual se encontra. Diante dessa condição, a hidratação do cimento ocorrerá de maneira diferente na amostragem moldada em corpo cilíndrico e na estrutura concretada.

De maneira análoga ao método da maturidade, a utilização desta técnica permite controlar todo o concreto em tempo real, o que possibilita uma tomada de decisão mais assertiva de modo a contribuir no aumento da produtividade e economia da obra, pois assim que o concreto atingir o f_{ck} determinado em projeto, a próxima etapa pode ser liberada, o que torna o método mais vantajoso, rápido e eficiente, além de econômico quando comparado ao ensaio destrutivo, pois não há necessidade da moldagem de inúmeros testemunhos.

CONCLUSÃO

Apesar da pouca utilização e falta de diretrizes normativas do método da maturidade do concreto no Brasil, constataram-se, diante da análise dos resultados dos rompimentos dos corpos de prova nas idades precoces, resultados significativos que demonstram que, se houvesse a aplicação deste método, haveria grande probabilidade de avançar de forma antecipada e com segurança em determinadas etapas da obra.

Pois com a possibilidade do acompanhamento da resistência em tempo real da estrutura in loco, permite ao responsável pela obra tomar decisões de maneira mais segura e rápida, uma vez que quando se sabe a resistência do concreto é possível organizar o fluxo de trabalho como a retirada com segurança do escoramento e cimbramento; liberação da prova de carga da estaca e protensão de laje, dentre outras atividades que geram economia e produtividade nas obras.

Observa-se diante da correlação entre os ensaios de compressão e o método da maturidade, que a utilização do método da maturidade pode ser uma solução viável, eficaz e econômica.

AGRADECIMENTOS

Ao CREA-MA pelo incentivo neste estudo e as empresas que colaboraram para realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- ABNT – NBR 5738 – Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2008.
- ABNT – NBR 5739 – Concreto: Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Disponível em: <http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/NBR-05738-94-Modelagem-e-Cura-Corpos-de-Prova-Cil%C3%ADndricos.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2023, 11:41:03.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - ASTM. ASTM C 1074-11: standard practice for estimating concrete strength by the maturity method. Annual book of ASTM standarts. Philadelphia: American Society for Testing Materials, 2011. v. 04.02.
- ASTM C 1074 (1998), Standard Practice for Estimating Concrete Strength by the Maturity Method.
- Chahud, E.; Santos, B. M; Aguilár, M. T. P.; O método da maturidade para determinar resistência à compressão em concretos: revisão de literatura. 1.ed. Editora Científica, 2021. Cap.20, p.306.
- Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. - Concreto: microestrutura, propriedades e materiais.3. ed. São Paulo: IBRACON, 2008. 674 f.
- Neville, Adam M. Propriedades do Concreto. Tradução Engenheiro Salvador E. Giammusso. 2ª Edição. São Paulo: Pini, 1997.
- Sota, J. D.; Avid, F. A.; Moreira, P. A.; Chury, M.; Medida de maturidade do concreto in situ numa estrutura. In: Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Concordia, Argentina. Disponível em: <https://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/149>. Acesso em: 25 de junho de 2023.
- Zaded, S.H.B., Kim, H., Hounsell, S., et al Field study of concrete maturity methodology in cold weather. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:11(827). Journal of construction engineering and management., v. 133, n.11, pp. 827-835, 2007. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-364%282007%29133%3A11%28827%29>. Acesso em: 25 de Junho de 2023.



AUTORES

Ana Caroline Pereira Nolasco

Professora Substitua da UEMASUL, Especialista em Engenharia Ferroviária; Engenharia Civil; Email: carolnolascoengcivil@gmail.com

Bruno Bertolo Caetano

Graduando em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, Ensino médio completo, brunobcaetano1@gmail.com.

Daniel Tait Vareschini

Docente do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá, Dr. em Ciências Morfológicas, dtvareschini@uem.br

Danielly Cruz Campos Martins

Docente do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá, Doutora em Engenharia Química, dccmartins2@uem.br

Davi França Carneiro

Profissional graduado em Ciência da Computação pela UFPE e com MBA em Gestão de Projetos concluído pela UNINASSAU. Atualmente como Analista de TI na Hemobrás, atua como líder da equipe de Governança e Projetos em Tecnologia da Informação e Comunicação, exercendo um papel estratégico no gerenciamento de projetos tecnológicos. Além disso, é membro ativo da Equipe de Tratamento de Incidentes de Segurança da Informação. E-mail: davi.carneiro@hemobras.gov.br

David Lohan Pereira de Sousa

Universidade Federal do Pará. Mestrando em Engenharia Mecânica. david.sousa@ananindeua.ufpa.br

Euley Johan da Silva Dantas

Universidade Federal do Pará. B.Sc em Ciência e Tecnologia. euley.dantas@ananindeua.ufpa.br

Iago Interaminense Gomes

Profissional com graduação em Engenharia da Computação pela Universidade Estadual de Pernambuco. Atualmente, ele ocupa a posição de Analista de TI na Hemobrás. Dentro da Hemobrás, desempenha um papel essencial como líder de projetos de implantação de sistemas. Além disso, ele é um membro ativo da Equipe de Tratamento de Incidentes de Segurança da Informação. E-mail: iago.gomes@hemobras.gov.br

Jean Carlos de Almeida

Universidade Federal do Pará. Mestrando em Engenharia Mecânica. jean.nobre@ananindeua.ufpa.br

João Felipe Ferreira Teixeira

Universidade Federal do Pará. B.Sc em Ciência e Tecnologia. João.teixeira@ananindeua.ufpa.br

Larissa dos Santos Borges

Universidade Federal do Pará. Mestrando em Engenharia Mecânica. larissa.borges@ananindeua.ufpa.br

Lucas Rafael Zanutto Zacarias

Graduando em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, Ensino médio completo, lucasrzzacarias@gmail.com

Luiz Claudio Fialho Andrade

Universidade Federal do Pará. Doutor em Engenharia Mecânica. lfialho@ufpa.br

Marcelino Luiz Gimenes

Docente do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá, Doutor em Engenharia Química, mlgimenes@uem.br

Maurício Barros Ottoni

Profissional Graduado em Ciências Computação e especialista em Informática em Saúde, com MBA em hospitais, clínicas e indústrias da saúde pela Fundação Getúlio

Vargas (2021) de Brasília. Possui 20 anos de experiência no mercado de tecnologia, sendo 15 anos em projetos com foco na saúde pública e privada, com especialidades em gerenciamento de projetos baseados no PMbok e métodos ágeis, planejamento em saúde pública, instrumentos de planejamento, análise situacional de saúde, desenvolvimento e monitoramento de metas e indicadores. Atualmente atua como Gerente de Tecnologia da Informação e Comunicação na Hemobrás, responsável por gerir projetos e toda a equipe de TI. Além disto, atua no planejamento e contratação dos contratos de tecnologia da empresa. E-mail: mauricio.ottoni@hemobras.gov.br

Nathally Mayumi Imamura

Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, Ensino médio completo, nathallyimamura@gmail.com

Nelson Gutemberg Rocha da Silva

Profissional com mestrado em Ciência da Computação pelo Centro de Informática da UFPE. Atualmente, desempenha o papel de Analista de TI na Hemobrás (Empresa Brasileira de Hemoderivados e Biotecnologia), uma indústria pública federal. Dentro da Hemobrás, lidera a equipe responsável pela aquisição e desenvolvimento de sistemas, e faz parte da Equipe de Tratamento de Incidentes de Segurança da Informação. E-mail: nelson.silva@hemobras.gov.br

Paula Polastri

Doutoranda em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, Mestre em Engenharia Urbana, paulapolastri1983@gmail.com

Vanessa Oliveira da Silva

Especialista em Infraestrutura dos Transportes e Rodovias; Engenheira Civil, Email: vanessaeng123@gmail.com

Wardleison Martins Moreira

Docente do Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá, Dr. em Engenharia Química, wmmoreira@uem.br

ISBN 978-655492053-7



9 786554 920537

