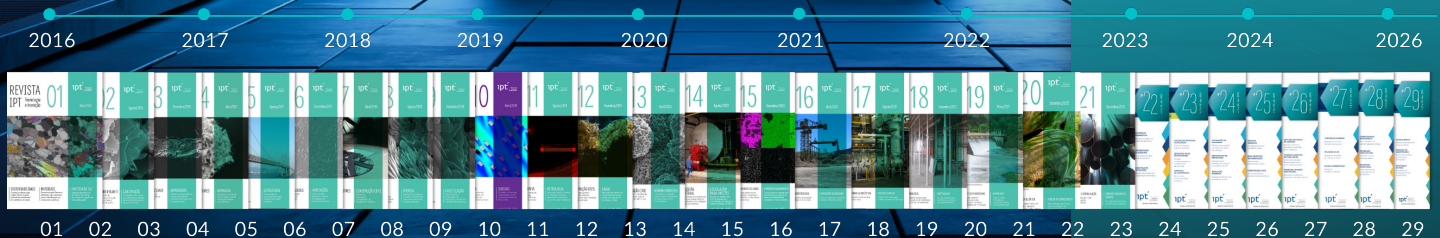


10 ANOS

30 EDIÇÕES DE PESQUISA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO



UMA DÉCADA CONECTANDO CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE.

DE OLHO NO ÓLEO

Drones monitoram derramamentos de óleo no mar

AVES RESILIENTES

Sobre a produção do antígeno da doença de Gumboro na criação de frangos

À SUA SAÚDE!

Como prevenir a presença de composto responsável por aromas e sabores indesejáveis numa taça de vinho?

revista **ipt**²

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

v.10, n.30, junho, 2026

Quadrimestral

Editores-chefes

Eduardo Luiz Machado

Andreia Longuinho da Silva

José Maria de Camargo Barros

Conselho Editorial

Eduardo Luiz Machado

Silas Derenzo

Assistentes Editoriais

Denis Martins Lemos

João Antonio Rodrigues Garcia

ISSN 2526-5830

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

Créditos técnicos

DIAGRAMAÇÃO E ARTE:

Silvia Megumi Mizoguti Padovani

REVISÃO:

Eduardo Luiz Machado

José Maria de Camargo Barros

sapiens.ipt.br

revista@ipt.br

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

ISSN 2526-5830



na capa
Arte: Silvia Megumi
Mizoguti Padovani

#30

revista1pt
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

SUMÁRIO

artigos técnicos

06 Drones para diagnóstico e monitoramento de derramamentos de óleo

Autor: Caio Pompeu Cavallieri

28 Análise de viabilidade econômica da tecnologia de produção do antígeno da doença de Gumboro em biorreator single use

Autores: Alexandre Kendy dos Santos Arakaki, Rosane Aparecida Moniz Piccoli

45 2,4,6-Tricloroanisol como Desafio à Qualidade de Vinhos: Cork Taint, Detecção e Controle

Autores: Lydia Fumiko Yamaguchi, Hiléia dos Santos Barroso, Amanda Marcante, Jamille Moreira Moraes, Ana Carolina de Souza Canário, Sandra Souza de Oliveira, Helena Correa de Araújo Gomes

64 A Contribuição da Assistência Técnica na Mitigação de Falhas em Empreendimentos Habitacionais

Autores: Elvis Correia do Nascimento, Cláudio Vicente Mitidieri Filho

ACONTECIMENTOS IMPORTANTES MARCAM 2026! COPA DO MUNDO? CLARO QUE SIM!

Mas ainda mais relevante para nossa comunidade científica e tecnológica é a comemoração do aniversário da 'Revista IPT - Tecnologia e Inovação', que chega à 30ª edição! Comemoramos estes acontecimentos em grande estilo, com a publicação de quatro artigos técnicos da melhor qualidade. Veja a seguir.

Abre esta edição artigo intitulado "Drones para diagnóstico e monitoramento de derramamentos de óleo", do pesquisador Caio Pompeu Cavalhieri da Seção de Investigações, Riscos e Gerenciamento Ambiental na unidade Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente do IPT (Cima). São apresentados levantamentos e resultados iniciais sobre o uso pelo IPT de drones, de asa rotativa e pequeno porte, em estudo multidisciplinar coordenado pelo Instituto Oceanográfico da USP, para diagnóstico e monitoramento ambiental em acidentes com derramamento de óleo em ambientes costeiros e oceânicos.

Em "Análise de viabilidade econômica da tecnologia de produção do antígeno da doença de Gumboro em biorreator single use" considera-se o desafio global de alimentos, sendo a carne de frango uma das possíveis soluções. Porém uma enfermidade enfrentada pelos produtores é a doença de Gumboro, com sérios impactos econômicos. Uma possibilidade para a expansão na produção da vacina de Gumboro é a introdução da tecnologia de produção em biorreatores do tipo single use. Seus autores são Alexandre Kendy dos Santos Arakaki, Mestre em Processos Industriais e pesquisador do Laboratório de Biotecnologia Industrial na unidade Bionomanufatura do IPT; Rosane Aparecida Moniz Piccoli, da mesma unidade técnica e docente do Mestrado Profissional em Processos Industriais do IPT.

O artigo "2,4,6-Tricloroanisol como Desafio à Qualidade de Vinhos: Cork Taint, Detecção e Controle" trata da presença de haloanisóis, em especial o 2,4,6-tricloroanisol (TCA), que é um composto responsável por aromas e sabores indesejáveis descritos como mofo na produção de vinhos. Estima-se que a contaminação por TCA seja responsável pela condenação de aproximadamente 4% da produção mundial de vinhos. São abordados métodos de extração, análise e estratégias de prevenção e remediação da sua presença em vinhos e rolhas de cortiça. Seus autores são Lydia Fumiko Yamaguchi, do Núcleo de Tecnologias Avançadas em Bem-Estar e Saúde (NUTABES) e Fundação de Apoio ao IPT; Hiléia dos Santos Barroso, do Laboratório de Biotecnologia Industrial na unidade Bionomanufatura do IPT; e Amanda Marcante; Jamille Moreira Moraes; Ana Carolina de Souza Canario; Sandra Souza de Oliveira; Helena Correa de Araújo Gomes do Núcleo de Tecnologias Avançadas em Bem-Estar e Saúde do IPT (NUTABES).

"A Contribuição da Assistência Técnica na Mitigação de Falhas em Empreendimentos Habitacionais" é o artigo que fecha esta edição, de autoria de Elvis Correia do Nascimento, do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia do IPT; e Cláudio Vicente Mitidieri Filho, pesquisador do Laboratório de Tecnologia e Desempenho de Sistemas Construtivos, na unidade Habitação e Edificações, e docente do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia do IPT. Apresentam-se propostas técnicas para implantação da 'Jornada da Assistência Técnica ao Cliente', como instrumento de integração das diversas fases de produção das edificações, voltadas à prevenção de falhas, qualificação das equipes e aprimoramento do controle ou gestão da qualidade. O resultado é a redução da incidência de falhas ou não-conformidades e dos custos e demandas judiciais, preservação da imagem da empresa e manutenção do desempenho e da vida útil das edificações.

*Eduardo
L. Machado*

Eduardo Luiz Machado
Pesquisador do Ensino Tecnológico



Artigo Técnico

Drones para diagnóstico e monitoramento de derramamentos de óleo

*Drones for diagnosing and
monitoring oil spills*

Caio Pompeu Cavahieri^{ab*}

^a SIRGA – Seção de
Investigações, Riscos e
Gerenciamento Ambiental

^b CIMA – Unidade de
Cidades, Infraestrutura
e Meio Ambiente

Palavras-chave: RPAS; derramamento
de óleo; emergência; impacto.

Keywords: RPAS; oil spill; emergency; impact.

* e-mail: caiopc@ipt.br

Resumo

Este artigo apresenta os levantamentos e resultados iniciais sobre o uso de drones de asa rotativa e pequeno porte realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A. (IPT) no âmbito de um estudo multidisciplinar coordenado pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP), voltado ao diagnóstico e monitoramento ambiental de acidentes com derramamento de óleo em ambientes costeiros e oceânicos. Foram considerados dois grupos de interessados, sendo um deles de natureza exclusivamente governamental e o outro relacionado à própria população afetada. As pesquisas focadas em instituições governamentais identificaram que drones já são usados em operações emergenciais para, por exemplo, localizar a pluma de poluente e orientar o posicionamento de barreiras para contenção de vazamentos em tempo real. Quanto às iniciativas envolvendo a população afetada, o uso de drones está associado a práticas de ciência cidadã e/ou mapeamento participativo, sendo que o próprio engajamento dá origem à produção de conhecimento a partir de massivas coletas de dados (crowdsourcing), como imagens e/ou amostras de água. Além disso, o uso dessa ferramenta favorece a capacitação da população local, algo que tende a fortalecer a participação popular nos processos decisórios e reduzir a vulnerabilidade das comunidades afetadas.

Abstract

This article presents the initial surveys and results on the use of small rotary-wing drones conducted by the Institute for Technological Research of the State of São Paulo S.A. (IPT) within the scope of a multidisciplinary study coordinated by the Oceanographic Institute of the University of São Paulo (IO-USP) focused on environmental diagnosis and monitoring in oil spill accidents in coastal and oceanic environments. Two stakeholder groups were considered, one exclusively governmental and the other related to the affected population itself. Research focused on governmental institutions identified that drones are already used in emergency operations to, for example, to locate the pollutant plume and guide the positioning of containment barriers in real time. Regarding initiatives involving the affected population, drones can be associated with citizen science practices and/or participatory mapping, with engagement itself giving rise to the production of knowledge from massive data collection (crowdsourcing), such as images and/or water samples. Furthermore, the use of this tool promotes the empowerment of the local population, which tends to strengthen popular participation in decision-making processes and reduce the vulnerability of affected communities.

1 Introdução

A proposta deste artigo é apresentar os levantamentos feitos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A. (IPT) em parceria com o Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP), para avaliar de que forma drones podem ser usados em eventos de derramamento oceânico de óleo.

Essas pesquisas foram realizadas principalmente para integrar o projeto Rede-Oleomar (UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2025), uma rede multidisciplinar de estudos costeiro-oceânicos voltada ao diagnóstico, monitoramento e gerenciamento da resiliência ambiental em acidentes com derramamento de óleo em ambientes costeiros e oceânicos, por meio do estabelecimento de diretrizes para o enfrentamento desses eventos, com foco numa área de estudo no sul da Bahia e considerando-se a população mais vulnerável. Trata-se de uma mobilização em resposta ao derramamento que em 2019 atingiu 11 estados brasileiros e cerca de 1.000 km de extensão da faixa litorânea do país (CARMO; TEIXEIRA, 2020), tendo culminado em 2023 na aprovação da proposta que visa atender o projeto Rede OLEOMAR associado à chamada CNPq/MCTI 06/2020 – Pesquisa e Desenvolvimento para Enfrentamento de Derramamento de Óleo na Costa Brasileira – Programa Ciência no Mar (CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO, 2020).

Dentro desse contexto, este artigo explora as potencialidades e limitações do uso de drones de asa rotativa e pequeno porte dentro do contexto de derramamento de óleo em áreas costeiras e oceânicas. Conforme ilustram os exemplos apresentados adiante, os avanços tecnológicos recentes culminaram na popularização de sensores e veículos autônomos, de modo que o uso de drones e câmeras embarcadas em ações de prevenção, resposta e recuperação já é realidade no setor petrolífero.

2 Procedimento metodológico

A elaboração deste artigo foi feita com base em buscas destinadas a identificar experiências em que drones já estivessem sendo usados em atividades relacionadas a derramamentos oceânicos de óleo. Essas buscas não ficaram restritas a artigos, tendo-se estendido a relatórios técnicos e páginas da internet. De qualquer forma, todo processo de busca, seleção e avaliação da qualidade desses materiais foi conduzido de forma cuidadosa e levando-se em conta sua utilidade para as partes interessadas (stakeholders) (REES; OLIVER, 2006).

Para este estudo foram considerados dois grandes grupos de interessados. O primeiro deles está exclusivamente relacionado a instituições governamentais e, neste caso, o uso de drone é apenas um dos desdobramentos da vigência de uma ou mais políticas públicas. O segundo grupo, por outro lado, destaca-se por sua natureza intersetorial, podendo envolver governo, comunidade e/ou terceiro setor. As ações e tomadas de decisão desse segundo grupo destacam-se por serem descentralizadas, característica que costuma lhe conferir maior abrangência e capilaridade.

Outro recorte feito para a elaboração deste artigo foi em relação ao tipo de drone, sendo que as considerações ficaram restritas apenas a aparelhos de asa rotativa e de pequeno porte – entre 250g e 25kg (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2021). Equipamentos como drones de asa fixa também são usados no contexto de derramamentos de óleo e, quando comparados a drones de asa rotativa, esses aparelhos têm as vantagens de: (i) cobrir áreas mais extensas e em intervalos de tempo menores; (ii) contar com autonomia de voo significativamente maior; e (iii) transportar mais carga útil como sensores maiores e mais sofisticados. No entanto, assumiu-se que aparelhos maiores e de asa fixa dificilmente teriam aderência com o grupo de natureza intersetorial em função da sua complexidade operacional e do considerável investimento financeiro necessário para se dar início às suas atividades de monitoramento.

De fato, drones de asa rotativa são mais simples de operar, reduzindo-se assim a necessidade de operadores especializados (BOON; DRIJFHOUT; TEFMICHAEEL, 2017). Além disso, esses aparelhos caracterizam-se por sua decolagem e pouso verticais (ZHAO; LI, 2022), o que possibilita que sejam usados até mesmo a partir de navios e/ou embarcações menores. Há que se destacar também a sua capacidade de realizar voos estacionários e com maior agilidade nas manobras, características que favorecem a realização de inspeções que exijam algum tipo de detalhamento.

3 Resultados e discussão

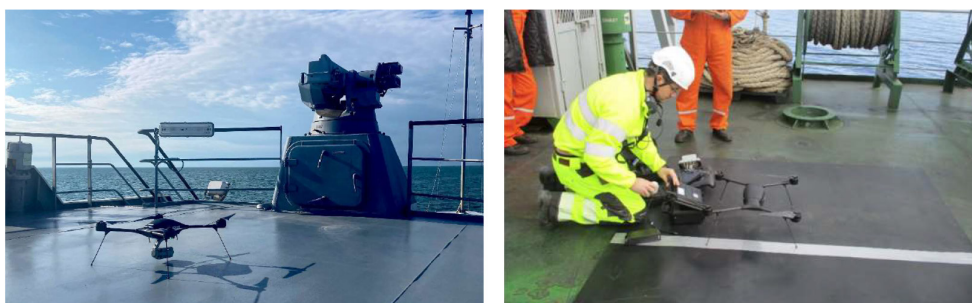
Em derramamentos de óleo no mar, um dos desafios que se apresentam diz respeito à qualidade das ações deflagradas nas diferentes fases de tais eventos. No geral, essas fases costumam ser divididas entre: (i) ações de prevenção na fase pré-emergencial; (ii) ações de reposta na fase emergencial; e (iii) avaliação dos impactos e ações de recuperação na fase pós-emergencial.

Drones de asa rotativa e de pequeno porte podem ser usados em todas essas três fases e por qualquer o grupo interessado (isto é, ligado ou não a instituições públicas). São apresentados a seguir os principais resultados dos levantamentos realizados, sendo que o que foi encontrado foi dividido em função de estar ou não associado a instituições públicas.

3.1 Ações governamentais

Um exemplo relacionado a instituições governamentais é o da Agência Europeia de Segurança Marítima (EMSA – European Maritime Safety Agency) em que drones foram incorporados ao seu sistema de vigilância marítima por satélite, o CleanSeaNet (EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY, 2021). Para essa agência, enquanto os satélites têm a vantagem de cobrir áreas extensas, os drones destacam-se por permitir a confirmação e a análise de derramamentos de óleo em qualquer horário do dia. Além disso, esses aparelhos podem ser operados a partir de navios usados especificamente em operações emergenciais para sobrevoar o local do vazamento durante todo o desenvolvimento das ações de resposta (Figuras 1 e 2) (EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY, 2022; 2023).

Figuras 1 e 2 – Exemplos de drones operados a partir de navios para monitorar vazamentos de óleo.



Fonte: European Maritime Safety Agency (2024).

Em situações assim, drones são encarados como plataformas aéreas equipadas com sensores usadas na identificação de diferentes parâmetros relacionados ao derramamento de óleo. Além do posicionamento de plumas superficiais, essas plataformas também oferecem dados importantes sobre trajetória do vazamento, dimensões da mancha, velocidade estimada de deslocamento, distância em relação à costa (FIGURA 3), locais potenciais para a deposição da pluma e até mesmo proximidade em relação a áreas de especial interesse (ex: cardume de peixes e recife de corais).

Figura 3 – Exemplo de derramamento superficial de óleo em área costeira identificado por drone.



Fonte: European Maritime Safety Agency (2024).

Há ainda casos em que os resultados de registros feitos por drones são combinados com análises feitas por redes neurais treinadas, algo que diminui a necessidade de operações manuais e reduz o tempo entre detecção e resposta (MOURSİ; WEHN; HAMMOUD, 2025; RODRIGUES JUNIOR *et al.*, 2022). Trata-se de uma aplicação que não fica restrita a imagens convencionais (RGB), estendendo-se a registros termográficos (DE KERF *et al.*, 2020) e hiperespectrais (JIANG *et al.*, 2022).

Outro exemplo relacionado a instituições governamentais é o do projeto IRA-MAR que foi co-fundado pela Direção Geral de Proteção Civil e Operações de Ajuda Humanitária Europeia (DG-ECHO – Directorate-General for European Civil Protection and Humanitarian Aid Operations) com o propósito de melhorar a capacidade de resposta a eventos de poluição marinha por parte dos seguintes países compreendidos entre o Mediterrâneo Ocidental e o Atlântico: Portugal, Espanha, França, Itália, Malta, Tunísia e Marrocos (ALCARO *et al.*, 2023). O IRA-MAR chama a atenção para o fato de que o uso de drones em emergências de vazamento no mar deve ser uma ação planejada e, portanto, esse planejamento não deve ser deflagrado apenas a partir do início de um atendimento emergencial (FIGURA 4). Isso se deve, por exemplo, ao fato de que o uso apropriado desse tipo de ferramenta passa pelo alinhamento com diferentes instituições – no caso do Brasil, envolve ao menos a Agência Nacional de Aviação Civil (Anac), a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel) e o Departamento de Controle do Espaço Aéreo do Comando da Aeronáutica (Decea) – e ainda pressupõe a disponibilidade de operadores treinados e drones prontos para uso.

Figura 4 – Exemplo de drone sobrevoando vazamento de óleo dentro da área de influência da plataforma de petróleo (ao fundo).



Fonte: Alcaro et al. (2023, p. 1).

Outro aspecto interessante da abordagem adotada pelo IRA-MAR diz respeito à parte operacional sobre o uso de drones em vazamentos de óleo em estuários. Em casos assim, preconiza-se que o drone seja operado a partir das próprias embarcações responsáveis pelo manejo de barreiras flutuantes para conter manchas de óleo. A partir dos registros que os drones transmitem para as embarcações em tempo real, é possível delimitar a geolocalização de vazamentos, de modo que as barreiras possam ser adequadamente dispostas para impedir que o óleo se espalhe e cause impactos ambientais negativos (Figuras 5 e 6).

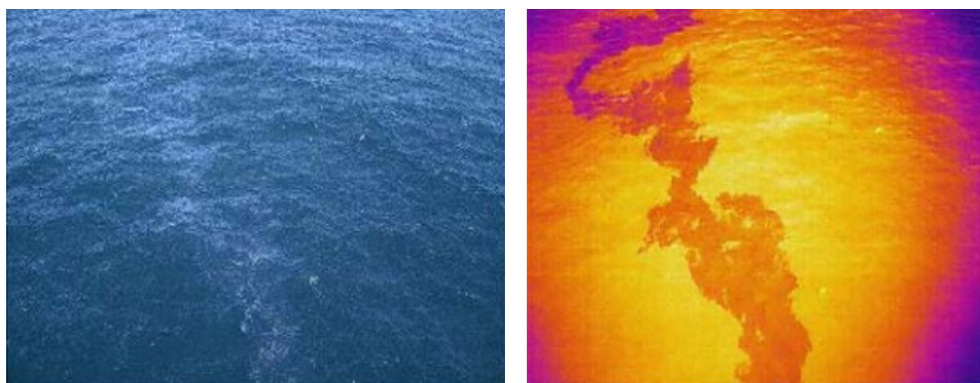
Figuras 5 e 6 – Exemplo de imagens de drone transmitidas em tempo real para orientar o deslocamento da embarcação (à esquerda) e posicionar a barreira flutuante para contenção do vazamento de óleo (à direita).



Fonte: Alcaro et al. (2023, p. 97-98).

Além disso, há ainda a experiência do IRA-MAR com o uso de câmeras termográficas embarcadas em drones. Sensores infravermelhos desse tipo são usados para dar suporte à identificação de vazamentos químicos que ficam sobre a superfície da água (Figuras 7 e 8).

Figuras 7 e 8 – Exemplo de imagens aéreas convencional (à esquerda) e termográfica (à direita) feitas a 80m de altura usadas para visualizar pluma de tolueno. Notar que a mancha aparece com maior ênfase no registro termográfico.



Fonte: Alcaro *et al.* (2023, p. 101).

3.2 Ações intersetoriais

Tanto a EMSA quanto o IRA-MAR são exemplos em que o uso de drones está diretamente relacionado a instituições governamentais. Trata-se de desdobramentos de políticas públicas que foram elaboradas considerando-se a vulnerabilidade de ambientes costeiros.

Hã, entretanto, ações de natureza intersetorial em que o uso de drones de pequeno porte também tem potencial para promover impactos positivos dentro do contexto de derramamento de óleo. Justamente por envolver governo, comunidade e/ou terceiro setor, essas ações tendem a ser mais abrangentes e ter maior capilaridade, constituindo o que pode ser entendido como uma forma integrada de gerenciamento costeiro (OLIVEIRA; SOUTO, 2012).

Em geral, esses gerenciamentos costumam estar fundamentados na descentralização de ações e tomadas de decisão. Isso coloca os municípios e comunidades locais como protagonistas do processo de proteger ecossistemas, desenvolver recursos costeiros e melhorar a qualidade de vida das pessoas.

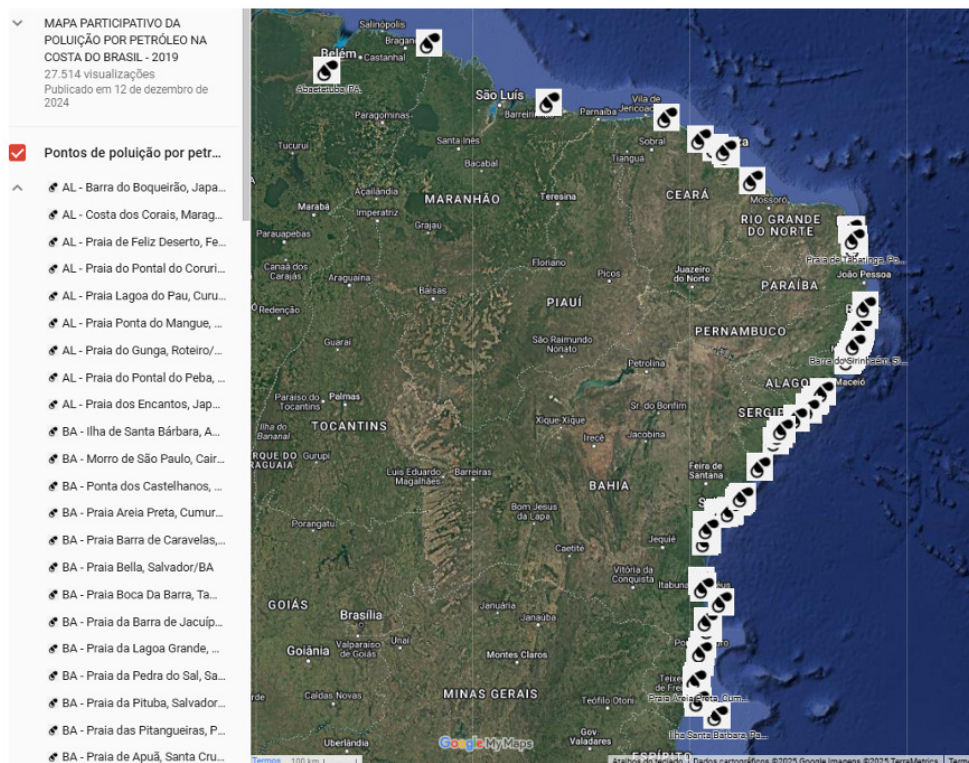
Para tanto, essa forma de organização depende da interpretação de diversos indicadores, cuja qualidade depende da disponibilidade de dados consistentes, amostragens com pe-

riodicidade adequada e coberturas com abrangência suficiente. Além disso, há estudos recentes específicos sobre a costa brasileira que apontam que dados de boa qualidade podem ser obtidos por mapeamentos participativos (SOUTO, 2021).

3.2.1 Mapeamento participativo

De maneira geral, o mapeamento participativo destaca-se pelo seu caráter inclusivo que empodera as comunidades por meio da participação da própria população local na coleta de dados e construção dos mapas (MCCALL, 2003). Nesse tipo de atividade, os participantes costumam disponibilizar imagens com visadas convencionais e a geolocalização de onde os registros foram feitos. Além disso, esses materiais podem ser integrados a mapas online como, por exemplo, o “Mapa Participativo da Poluição por Petróleo na Costa do Brasil” organizado pelo Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável – IVIDES (FIGURA 9), permitindo que quaisquer interessados analisem esses dados após a sua inserção na plataforma (SOUTO, 2021).

Figura 9 – Mapa participativo online com a representação dos locais em que voluntários, ONGs, jornalistas, pesquisadores e moradores fizeram registros convencionais de resíduos de petróleo associados ao derrame ocorrido em 2019-2020 na costa brasileira.



Fonte: Souto (2019).

Iniciativas desse tipo não se restringem apenas à catalogação de impactos ambientais negativos. Plataformas como eBird (SULLIVAN *et al.*, 2014) e iNaturalist (2025) (FIGURA 10), valem-se dos mesmos princípios e ferramentas para disponibilizar bancos de dados (SULLIVAN *et al.*, 2009) sobre biodiversidade a partir de coletas feitas por qualquer pessoa interessada. Trata-se de uma quantidade de dados que cresce constantemente e é muito superior àquela coletada por cientistas, algo que por si só já tem um potencial enorme de integração com diferentes tipos de base (BOVO, 2021). Além disso, dispor de dados assim é especialmente relevante em meio à insuficiência de recursos financeiros e humanos que costuma caracterizar programas de monitoramento ambiental em áreas particularmente extensas (NUNES, 2021).

Figura 10 – Mapa do iNaturalist com marcadores que representam a localização em que diferentes grupos taxonômicos já foram encontrados. Notar também a referência aos últimos registros incluídos no local de interesse selecionado (quadro à direita).

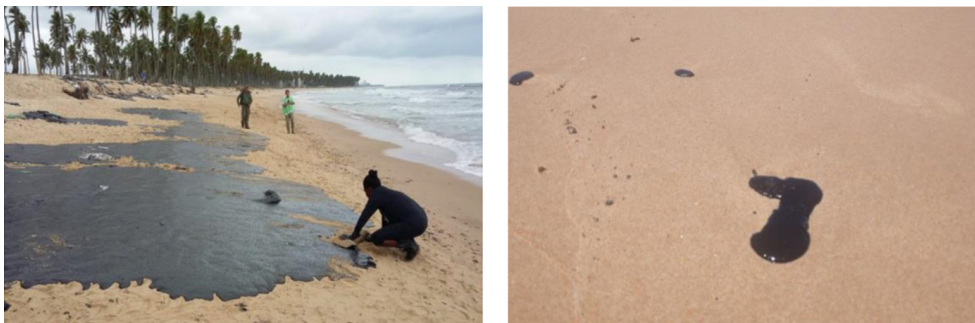


Fonte: INaturalist (2025).

Há que se destacar, entretanto, a qualidade variável dos dados disponibilizados por cada pessoa que alimenta essas plataformas. Um dos motivos associados a essa variação diz respeito à falta das coordenadas geográficas do local em que os registros foram feitos, o que pode ser atribuído à falta de informações espaciais nos metadados das imagens geradas (ROBINSON; RUIZ-GUTIERREZ; FINK, 2017). Ainda assim, trata-se de uma limitação que tende a ser minimizada com a popularização de smartphones capazes de gerar imagens georreferenciadas mesmo sem qualquer conhecimento prévio por parte do usuário (LIEBENBERG *et al.*, 2016).

Outra limitação comum em tais levantamentos diz respeito ao ângulo de visada em que os registros são feitos. No caso do material reunido pelo IVIDES entre 2019 e 2020 para análise do derrame de petróleo na costa brasileira, as imagens geradas foram feitas com a câmera posicionada na altura dos olhos do observador ou no mesmo nível do objeto de interesse (Figuras 11 e 12).

Figuras 11 e 12 – Exemplos de imagens geradas com a câmera convencional.



Fonte: Souto (2023, p. 217).

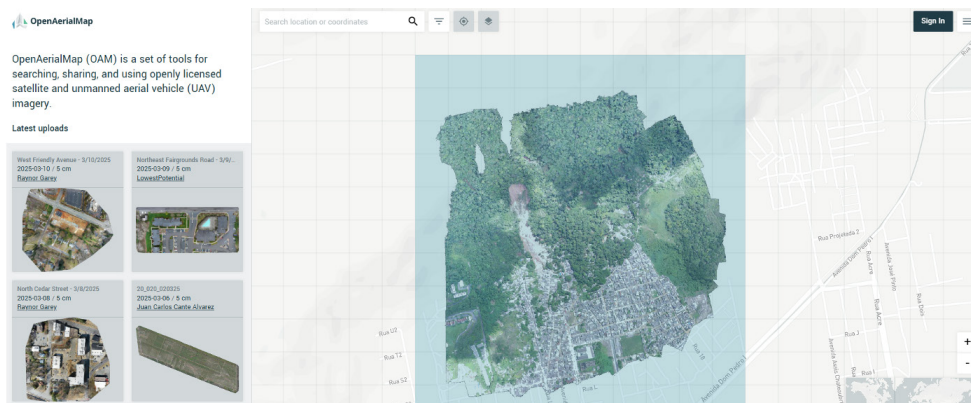
Dentro desse contexto, drones de asa rotativa e pequeno porte apresentam-se como ferramentas com potencial para contribuir de forma substancial para a coleta de dados. Suas imagens são geradas a partir de diferentes ângulos e alturas, podendo ser divididas em dois tipos: (i) oblíquas, ou seja, com a câmera inclinada em relação ao plano horizontal, oferecendo uma maior perspectiva do derrame de petróleo em relação ao restante da paisagem; e (ii) ortogonais, isto é, com capturas feitas com a câmera apontada diretamente pra baixo, dando origem a uma visão plana do objeto de interesse e do seu entorno.

Diferente dos registros convencionais (aqueles feitos diretamente do solo com a câmera posicionada na altura dos olhos), as imagens oblíquas e ortogonais costumam ser mais favoráveis às atividades de fotointerpretação. De fato, ao invés de serem registros muito próximos do alvo, essas duas modalidades de captura têm a vantagem de apresentar objetos de interesse dentro de contextos mais amplos como, por exemplo, resíduos de petróleo associados à sua fonte do vazamento ou à respectiva área impactada.

Além disso, os registros feitos por drones costumam ter em seus metadados as coordenadas referentes à posição do drone no momento em que a captura da imagem é feita. Isso por si só já é um diferencial quando se pretende usar esse tipo de imagem para alimentar bases de mapas participativos como o do IVIDES e do Google MyMaps (SOUTO; BATALHÃO, 2022).

No caso das imagens ortogonais, ainda há a possibilidade de se processar esse tipo de material para dar origem a ortomosaicos, de modo que os produtos de drone possam ter um uso cartográfico para mensuração de distâncias, perímetros e áreas. Ortomosaicos assim podem ser compartilhados em plataformas específicas de hospedagem gratuita como, por exemplo, o OpenAerialMap (FIGURA 13) (MANDOURAH; HOCHMAIR, 2025).

Figura 13 – Exemplos de ortomosaicos (à esquerda e ao centro) disponíveis gratuitamente para consulta e download na plataforma do OpenAerialMap.



Fonte: OpenAerialMap (2025).

3.2.2 Registros comunitários

A coleta participativa de dados por drone tem potencial para desempenhar um importante papel em monitoramentos de derramamentos de óleo. Essa atividade pode estar associada a práticas de ciência cidadã e/ou mapeamento participativo em que o próprio engajamento da população dá origem à produção de conhecimento a partir de massivas coletas de dados (crowdsourcing).

A ideia é que todo esse processo passe pela participação ativa dos cidadãos em atividades científicas, algo que tende a favorecer a qualificação da população a partir do uso de diferentes tipos de ferramenta (Figuras 14 e 15) e de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC). Além disso, indivíduos dentro desse contexto tendem a difundir práticas de interação colaborativas e experimentar novas dinâmicas de participação em movimentos sociais, favorecendo a busca por melhores condições de vida (GIARETTA; DI GIULIO, 2018).

Figuras 14 e 15– Exemplos de uso de equipamento para coleta de dados feita pela própria população.



Fonte: Liebenberg *et al.* (2016, p. 3) e British Geological Survey (2025).

Além do seu caráter inclusivo relacionado à participação da população local, dados coletados por drones tendem a amplificar o compartilhamento de informações, ampliando as possibilidades de influência da população sobre processos decisórios. Trata-se também de um registro das percepções locais que, ao reunir diferentes fontes de saber, tende a apoiar as comunidades afetadas no manejo de riscos e redução de vulnerabilidade (CANEVARI *et al.*, 2015).

3.2.3 Qualificação da população local e acurácia dos dados

A credibilidade dos dados coletados pode ser questionada em função da inexperiência que a população local costuma apresentar em relação aos registros com drones. Seja como for, além da necessidade de validação das imagens coletadas, é essencial capacitar aqueles que irão se dedicar a fazer imagens aéreas, daí a importância de se realizar treinamentos com a população local.

Esses treinamentos já são realidade em outros contextos de comunidades impactadas. É, por exemplo, o caso de indígenas que aprendem a usar drones para proteger de invasões de garimpo o maior território indígena do Brasil, a Terra Yanomami localizada em Roraima (JOVENS..., 2023). Nesse caso, aulas teóricas e práticas são realizadas em formato de oficina para habilitar jovens Yanomami e Ye'kwana a fazerem o monitoramento das próprias terras (FIGURA 16) para poderem fazer denúncias ao poder público sempre que forem identificadas atividades de garimpo irregular. Outro aspecto destacado pela Associação Yanomami (HAY) e a Associação Wanasseduume Ye'kwana (SEDUUME), em parceria com o conselho indígena de Roraima (CIR), é que os jovens operadores tornaram-se multiplicadores do que aprenderam (HUTUKARA ASSOCIAÇÃO YANOMAMI, 2024).

Figura 16 – Jovens indígenas aprendendo a pilotar drone para empreender ações de monitoramento.



Fonte: Hutukara Associação Yanomami (2024).

De qualquer forma, é importante ter clareza do contexto em que ocorrerão eventuais desvios de acurácia posicional de registros feitos com drones. De maneira geral, a proposta é que tais trabalhos com drones não envolvam pontos de apoio, isto é, pontos com coordenadas conhecidas utilizados no processamento de imagens aéreas para calibrar e atestar a qualidade posicional dos produtos gerados. Abrir mão desse tipo de recurso deve-se a dois motivos distintos.

O primeiro motivo está associado à dinâmica dos próprios campos. No geral, esses trabalhos contam com intervalos de tempo consideravelmente curtos, de modo que a coleta de pontos de apoio torna-se uma atividade inviável. Já o segundo motivo diz respeito à irrelevância que esses desvios representam para o resultado final do mapeamento participativo. Nessas atividades, como o foco é compartilhar dados sobre observações de alterações ambientais e/ou espécies, a magnitude dos erros de geolocalização costuma ser pequena a ponto de não prejudicar a visualização espacial dos objetos de interesse. Além disso, há trabalhos que tratam especificamente do uso criterioso de dados gerados por drone sem a utilização de pontos de apoio (FORLANI *et al.*, 2018; GUTIÉRREZ *et al.*, 2024; SPOCHAKI *et al.*, 2018).

3.3 Amostragem de água e contaminantes com drones

Outra atividade que pode contar com o auxílio de drones de pequeno porte é a coleta de amostras de águas superficiais e eventuais contaminantes. Podendo ser conduzido por instituições governamentais e/ou população local, esse procedimento pode melhorar de forma significativa os procedimentos de amostragem por não depender de embarcações, pontes e outros aparatos fixos (**Figuras 17 e 18**).

Figuras 17 e 18 – Exemplos de procedimentos utilizados em coletas tradicionais. Notar a dependência de aparatos fixos e pontes.



Fonte: Botelho (2000) e Porto (2012).

De fato, soluções convencionais costumam demandar recursos significativos para garantir o monitoramento da qualidade da água em um único ponto, o que muitas vezes torna financeiramente inviáveis projetos que precisam monitorar mais de uma área ao mesmo tempo. Por outro lado, há situações em que o orçamento não é um fator limitante, mas a dificuldade logística para viabilizar a adoção de alguns procedimentos de coleta é tamanha que incorporá-los às atividades de monitoramento torna-se pouco prático (Figuras 19 e 20).

Figuras 19 e 20 – Fatores que podem dificultar e até mesmo viabilizar os serviços de amostragem: profundidade do corpo d'água (à esquerda) e inadequação de equipamentos (à direita).

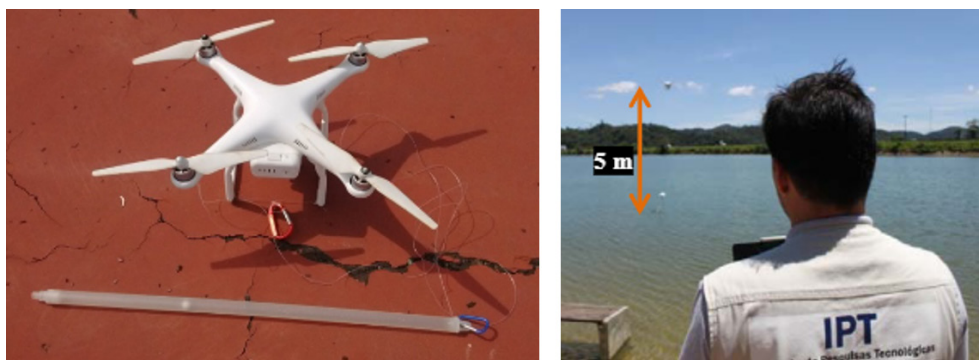


Fontes: Brandão *et al.* (2011) e acervo do autor.

Uma das formas de se proceder as amostragens com drones é a desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e que conta com aplicações similares (TERADA *et al.*, 2018). Idealizado para ser descartável e independente de dispositivos eletrônicos, o sistema de coleta criado pelo IPT conta com um bailer descartável de 60 cm de altura, 1 cm de diâmetro e capacidade para cerca de 150 mL conectado a

um drone por uma linha de nylon de 5 m e dois mosquetões de encaixe rápido (Figuras 21 e 22). Além disso, em configurações que contam com drones que transmitem imagens em tempo real é possível que as amostras de água sejam coletadas sem nenhum contato visual direto entre o operador e o drone. Para o caso específico de derramamentos de óleo, amostragens feitas por drones oferecem vantagens especialmente considerando-se que o acesso às áreas impactadas é geralmente desafiador. Além da agilidade e da segurança que esse tipo de técnica confere às amostragens, o uso de drones permite que as coletas sejam feitas a partir de pontos representativos, o que nem sempre é possível quando as amostras são obtidas a partir de técnicas convencionais.

Figuras 21 e 22 – Sistema do IPT formado por bailer conectado a drone por linha de nylon e mosquetões (à esquerda) para coleta em corpo d’água (à direita).



Fonte: Cavalhieri (2019, p. 7).

5 Conclusões

Este artigo apresentou os resultados de levantamento feito pelo IPT, reunindo considerações sobre potencialidades e limitações relacionadas ao uso de drones de asa rotativa e de pequeno porte dentro do contexto de diagnóstico e derramamentos de óleo em ambientes costeiros e oceânicos. Considerando-se o desafio que é conviver com possíveis impactos negativos de tais eventos, drones podem ser entendidos como importantes aliados para a idealização de ações estratégicas de curto, médio e longo prazo.

Nesse sentido, o uso dessa ferramenta em acidentes com derramamento de óleo pode estar associado a benefícios como:

- (i). gerar dados a partir de imagens (oblíquas e ortogonais) e coleta de amostras representativas de água que, em contraponto a procedimentos tradicionais, favoreçam a detecção de eventuais derramamentos e contribuam para a elaboração de respostas rápidas;

- (ii). promover a cooperação entre operações do governo e iniciativas da população local impactada por derramamentos;
- (iii). capacitar a população local no uso de drones, imagens aéreas georreferenciadas e ferramentas de mapeamento participativo em procedimentos de diagnóstico e monitoramento; e
- (iv). fortalecer a participação da população no reconhecimento dos seus territórios e nos processos decisórios.

Em comparação com modelos de asa fixa, os drones de asa rotativa e de pequeno porte usados em derramamentos de óleo apresentam desvantagens como cobrir áreas reduzidas, contar com autonomia de voo inferior e dispor de menor capacidade de carga para transporte de sensores. Ainda assim, drones desse tipo são ferramentas que, por meio de câmeras convencionais (RGB) e termográficas, caracterizam-se por sua versatilidade, qualidade dos dados adquiridos e facilidade de uso, favorecendo a coleta de dados importantes sobre plumas superficiais, tais como posicionamento, trajetória do vazamento, dimensões da mancha e velocidade de deslocamento.

Esses aparelhos também se destacam por sua decolagem e pouso verticais (o que possibilita o seu uso em embarcações menores) e por serem capazes de realizar voos estacionários e manobras ágeis (que favorecem a realização de inspeções detalhadas e feitas a partir de navios usados especificamente para monitorar vazamentos). Além disso, há ainda a simplicidade do aprendizado exigido e a baixa complexidade que sua operação rotineira demanda, características particularmente interessantes quando se trata de práticas de mapeamento participativo e/ou ciência cidadã que necessariamente envolvem as populações afetadas.

De fato, drones operados pela população impactada têm potencial para amplificar a geração e o compartilhamento de dados sobre derramamentos, ampliando suas possibilidades de influência sobre os próprios processos decisórios. Trata-se, portanto, de um registro feito a partir das percepções locais que tende a favorecer o manejo de riscos relacionados a vazamentos de óleo e a redução de vulnerabilidades das comunidades afetadas.

6 Agradecimentos

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A. (IPT) pela oportunidade. Ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP) pela parceria. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio. À professora Dra. Elisabete de Santis Braga da Graça Saraiva (IO-USP) e à engenheira ambiental MSc. Marcela Maciel de Araújo (IPT) pelo convite. À oceanógrafa MSc. Larissa Felicidade Werkhauser Demarco (IPT) e à pesquisadora Edna Baptista dos Santos Gubitoso (IPT) pelas contribuições nas etapas de revisão e referências.

7 Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Drones Classe 3 (RPA com peso máximo de decolagem maior que 250g e até 25 kg)**. Brasília: ANAC, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/aeronaves-nao-tripuladas-da-classe-3-com-peso-maximo-de-deco-lagem-maior-que-250g-e-ate-25-kg>. Acesso em: 12 jun. 2025.

ALCARO, L. *et al.* **D5.1 IRA-MAR Preliminary bibliographic research on the Best Available Technologies for the use of drones in maritime emergency response surveys**. [S.l.]: IRA-MAR, 2023. 123 p. Disponível em: https://wwz.cedre.fr/en/content/download/11017/file/20230331_D5.1Best%20Available%20Technologies%20_Guide.pdf. Acesso em: 12 jun. 2025.

BOON, M. A.; DRIJFHOUT, A. P.; TEFAMICHAEL, S. Comparison of a fixed-wing and multi-rotor uav for environmental mapping applications: a case study. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON UNMANNED AERIAL VEHICLES IN GEOMATICS, 4., 2017, Bonn, Germany. **Proceedings...** Bonn: Universtiy of Bonn, 2017. p. 47-58.

BOTELHO, M. H. C. **Uma vida tratando águas**: memórias do engenheiro Armando Fonzari Pera. São Paulo: Engenho Editora Técnica, 2000.

BOVO, A. A. A. **Ciência cidadã e modelos de distribuição de espécies para a conservação de aves ameaçadas**. 2021. 105 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.

BRANDÃO, C. J. *et al.* (Coord.). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2012/GuiaNacionalDeColeta.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2025.

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. **Enhancing multi-hazard resilience through integrating citizen science in the Caribbean**. 2025. Disponível em: <https://www.bgs.ac.uk/geology-projects/global-geological-risk/improving-multi-hazard-resilience/>. Acesso em: 23 ago. 2025.

CANEVARI, L. *et al.* Using partial participatory GIS in vulnerability and disaster risk reduction in Grenada. **Climate and Development**, v. 9, n. 2, p. 1-15, Sept. 2015.

CARMO, E. H.; TEIXEIRA, M. G. Desastres tecnológicos e emergências de saúde pública: o caso do derramamento de óleo no litoral do Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 20, art. 00234419, 2020.

CAVALHIERI, C. P. Amostragem de água com drones. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais...** São Paulo: ABRHIDRO, 2019.

CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Chamada CNPq/MCTI 06/2020 – Pesquisa e Desenvolvimento para Enfrentamento de Derramamento de Óleo na Costa Brasileira – Programa Ciência no Mar**. Brasília: CNPq/MCTI, 2020. 20 p. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/oceano-e-antartica/chamadapublica06_2020.pdf. Acesso em: 20 jul. 2025.

DE KERF, T. *et al.* Oil Spill Detection Using Machine Learning and Infrared Images. **Remote Sensing**, v. 12, art. 4090, 2020.

EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY. CleanSeaNet - European satellite based oil spill monitoring and vessel detection service. 2021. Disponível em: <https://www.emsa.europa.eu/csn-menu/items.html?cid=122&id=4322>. Acesso em: 12 jul. 2025.

EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY. **EMSA RPAS Services for Maritime Surveillance 2017-2023**. 2024. Disponível em: <https://emsa.europa.eu/we-do/surveillance/rpas/item/5276-emsa-rpas-services-for-maritime-surveillance-2017-2023.html>. Acesso em: 19 jul. 2025.

EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY. **RPAS Service Portfolio: Marine Pollution Monitoring & Detection**. 2022. Disponível em: <https://emsa.europa.eu/we-do/surveillance/rpas/item/3115-rpas-service-portfolio.html>. Acesso em: 20 jul. 2025.

EUROPEAN MARITIME SAFETY AGENCY. **RPAS Service: Lightweight RPAS Services Supporting Pollution Response**. 2023. Disponível em: <https://emsa.europa.eu/we-do/surveillance/rpas/item/4974-rpas-service-lightweight-rpas-services-supporting-pollution-response.html>. Acesso em: 8 jul. 2025. <https://emsa.europa.eu/we-do/surveillance/rpas/item/4974-rpas-service-lightweight-rpas-services-supporting-pollution-response.html>. Acesso em: 11 jul. 2025.

FORLANI, G. *et al.* Quality Assessment of DSMs Produced from UAV Flights Georeferenced with On-Board RTK Positioning. **Remote Sensing**, v. 10, n. 2, p. 1-22, Feb. 2018.

GIARETTA, J. B. Z.; DI GIULIO, G. O papel das tecnologias de comunicação e informação (TIC) no urbano do século XXI e na emergência dos novos movimentos sociais. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 20, n. 1, p. 161- 179, jan./abr. 2018.

GUTIÉRREZ, A. G. *et al.* Is it possible to generate accurate 3D point clouds with UAS-LIDAR and UAS-RGB photogrammetry without GCPs? A case study on a beach and rocky Cliff. **Landscape Ecology**, v. 39, n. 191, p. 1-24, Nov. 2024.

HUTUKARA ASSOCIAÇÃO YANOMAMI. Associação Wanasseduume Ye'kwana. Jovens Ye'kwana e Yanomami, aprendem técnicas avançadas para operar drones. **Instagram**, 21 set. 2024. Disponível em: https://www.instagram.com/hutukara_yanomami/p/DAL2014vDjH/?img_index=1. Acesso em: 01 ago. 2025

INATURALIST. **Observações**. Disponível em: <https://www.inaturalist.org/observations>. Acesso em: 21 jul. 2025.

JIANG, Z. *et al.* Hyperspectral **Remote Sensing** Detection of Marine Oil Spills Using an Adaptive Long-Term Moment Estimation Optimizer. **Remote Sensing**, v. 14, p. 1-27, 2022.

JOVENS indígenas aprendem a usar drones para monitorar e proteger a Terra Indígena Yanomami. **Portal G1**, 8 nov. 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/rr/roraima/noticia/2023/11/08/jovens-indigenas-aprendem-a-usar-drones-para-monitorar-e-proteger-a-terra-indigena-yanomami.ghtml>. Acesso em: 24 set. 2025.

LIEBENBERG, L. *et al.* Smartphone Icon User Interface design for non-literate trackers and its implications for an inclusive citizen Science. **Biological Conservation**, v. 208, n. 1756, p. 1-8, May 2016.

MANDOURAH, A.; HOCHMAIR, H. H. Analysing the use of OpenAerialMap images for OpenStreetMap edits. **Geo-Spatial Information Science**, v. 28, n. 3, p. 1179–1194, 2025.

MCCALL, M. K. Seeking Good Governance in Participatory-GIS: A Review of Processes and Governance Dimensions in Applying GIS to Participatory Spatial Planning. **Habitat International**, v. 27, n. 4, p. 549-573, Dec. 2003.

MOURSI, M.; WEHN, N.; HAMMOUD, B. **Smart Environmental Monitoring of Marine Pollution using Edge AI**. Cornell: Cornell University, 2025. 5 p. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2504.21759>. Acesso em: 6 jul. 2025.

NUNES, G. A. **Monitoramento ambiental por meio da ciência cidadã em cavernas de Unidades de Conservação do Estado de São Paulo**. 2021. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2021.

OLIVEIRA, L. A. K.; SOUTO, R. D. Gerenciamento costeiro integrado no Brasil. Análise da adequação dos planos nacionais de gerenciamento costeiro e de iniciativas selecionadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 5., 2012, Rio de Janeiro. **Anais...** Camboriú: Associação Brasileira de Oceanografia, 2012. p. 1-12.

OPENAERIALMAP. **OpenAerialMap (OAM) is a set of tools for searching, sharing, and using openly licensed satellite and unmanned aerial vehicle (UAV) imagery**. Disponível em: https://map.openaerialmap.org/#/-46.221832036972046,-23.96693076580334,16?_k=shuh6x. Acesso em: 15 jul. 2025

PORTO, R. L. (Coord.). **Fundamentos para gestão da água**. São Paulo: [s.n.], 2012. Disponível em: https://www.academia.edu/33351068/Fundamentos_para_a_Gest%C3%A3o_da_%C3%81gua. Acesso em: 14 abr. 2025.

REES, R.; OLIVER, S. Stakeholder perspectives and participation in systematic reviews. In: GOUGH, D.; OLIVER, S.; THOMAS, J **An Introduction to Systematic Reviews**. London: Sage Publications, 2006. p. 19-42. ISBN: 9781473929432.

ROBINSON, O. J.; RUIZ-GUTIERREZ, V.; FINK, D. Correcting for bias in distribution modelling for rare species using citizen science data. **Diversity and Distributions**, v. 24, n. 4, p. 1 – 13, Dec. 2017.

RODRIGUES JUNIOR, V. N. *et al.* Oil Spill Detection and Visualization from UAV Images using Convolutional Neural Networks. In: INTERNATIONAL JOINT CONFERENCE ON COMPUTER VISION, IMAGING AND COMPUTER GRAPHICS THEORY AND APPLICATIONS, 17., 2022, Virtual Event. **Proceedings...** Setúbal, Portugal: Science and Technology Publications, 2022. v. 5, p. 331-338.

SOUTO, R. D. **Estudo de caso: governança ambiental participativa e justiça social: uso do mapeamento participativo como ferramenta para análise do derrame de petróleo na costa brasileira em 2019-2020**. In: Horizonte oceânico brasileiro: síntese para tomadores de decisão. [S.l.]: PainelMar, 2021. v. 1, p. 201-233.

SOUTO, R. D. **Estudo de caso:** governança ambiental participativa e justiça social: uso do mapeamento participativo como ferramenta para análise do derrame de petróleo na costa brasileira em 2019-2020. Rio de Janeiro: Instituto Virtual para o Desenvolvimento Sustentável, Laboratório de Cartografia da UFRJ, 2023. p. 201-233.

SOUTO, R. D.; BATALHÃO, A. C. S. Citizen science as a tool for collaborative sitespecific oil spill mapping: the case of Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 94, suppl. 2, p. 1-19, 2022.

SOUTO, R. D. **Mapa Colaborativo da Poluição por Petróleo na Zona Costeira do Brasil – Desastre 2019-2020**. Rio de Janeiro: IVIDES, 2019. Disponível em: <https://ivides.org/mapa-participativo-petroleo-2019-2020>. Acesso em: 15 jul. 2025.

SPOCHAKI, C. H. *et al.* Verificação da qualidade de ortomosaicos produzidos a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada sem o uso de pontos de apoio. **Raíe Ga, O Espaço Geográfico em Análise**, v. 43, p. 200-214, fev. 2018.

SULLIVAN, B. *et al.* eBird: A citizen-based bird observation network in the biological sciences. **Biological Conservation**, v. 142, n. 10, p. 2282-2292, Oct. 2009.

SULLIVAN, B. *et al.* The eBird enterprise: An integrated approach to development and application of citizen science. **Biological Conservation**, v. 169, p. 31-40, Jan. 2014.

TERADA, A. *et al.* Water sampling using a drone at Yugama crater lake, Kusatsu Shirane volcano, Japan. **Earth, Planets and Space**, v. 70, n. 64, p. 1-9, 2018.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. **Rede Oleomar (CNPq/MCTI)**. Disponível em: <https://sites.usp.br/labnut/redeoleomar/>. Acesso em: 20 jul. 2025

ZHAO, T.; LI, W. Design Configuration and Technical Application of Rotary-Wing Unmanned Aerial Vehicles. **Mechatronics and Intelligent Transportation Systems**, v. 1, n. 1, p. 69-85, 2022.

XXXXXXXXXX



Artigo Técnico

Análise de viabilidade econômica da tecnologia de produção do antígeno da doença de Gumboro em biorreator *single use*

Economic feasibility analysis of Gumboro disease antigen production technology in single use bioreactor

Alexandre Kendy dos Santos Arakaki^{a*},
Rosane Aparecida Moniz Piccoli^{b,c}

^a Egresso do Mestrado Profissional em Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo - SP, Brasil.

^b Docente do Mestrado Profissional em Processos Industriais, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo - SP, Brasil.

^c Laboratório de Biotecnologia Industrial, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo - SP, Brasil.

Palavras-chave: Biotecnologia; biorreator *Single use*; Análise econômica; Viabilidade econômica; Produção de vírus; Gumboro.

Keywords: *Biotechnology; Single-use bioreactor; Economic analysis; Economic feasibility; Virus production; Gumboro.*

* e-mail: alexandreakaki@uol.com.br

Resumo

A população mundial atual é de aproximadamente 7,9 bilhões de pessoas e a expectativa para 2050 é de alcançar 9,7 bilhões. Portanto, o fornecimento global de alimentos será um dos grandes desafios para os próximos anos. Nessa direção, o mercado global de carne de aves atingiu a produção de 110 milhões de toneladas em abril de 2026 e uma das enfermidades enfrentadas pelos produtores de carne de frango é a doença de Gumboro. Considerada uma das doenças mais desafiadoras enfrentadas pela indústria avícola mundial, traz sérios impactos econômicos para produção dessa proteína de origem animal. Uma das possibilidades para a expansão da capacidade produtiva da vacina de Gumboro é a introdução da tecnologia de produção em biorreatores do tipo *single use*. A análise de viabilidade econômica da produção dessa vacina foi realizada com o auxílio do *software* SuperPro Designer, a partir do fluxograma do processo de produção, simulando os custos para diferentes porcentagens da demanda global do mercado de vacinas. O resultado mostrou que o menor custo de produção do antígeno por miligrama foi de US\$ 8,6 em simulações realizadas com base na adição dos equipamentos limitantes identificados no processo e de US\$ 7,7/mg nas simulações baseadas na demanda global. Os melhores indicadores financeiros para as simulações baseadas na adição de equipamentos limitantes foram de 40,3% de margem bruta, 40,2% de retorno sobre o investimento, 46,4% de taxa interna de retorno e de 2,5 anos de tempo de retorno do investimento. Para as simulações baseadas na demanda global, os valores variam de 28,7% a 46,4% para a margem bruta, 22,1% a 40,4% para o retorno sobre o investimento e de 2,5 anos a 4,5 anos de tempo de retorno sobre o investimento. A produção do antígeno da doença de Gumboro em biorreator *single use* mostrou-se financeiramente viável.

Abstract

The current world population is approximately 7.9 billion people and the expectation for 2050 is to reach 9.7 billion. Therefore, the global food supply will be one of the great challenges for the next years. In this direction, the global poultry meat market reached a production of 110 million tons in April 2026 and one of the diseases faced by poultry meat producers is Gumboro disease. Considered one of the most challenging diseases faced by the poultry industry worldwide, it has serious economic impacts on the production of this protein of animal origin. One of the possibilities for expanding the production capacity of the Gumboro vaccine is

the introduction of production technology in single-use bioreactors. The economic viability analysis of the production of this vaccine was carried out with the help of the SuperPro Designer software, based on the flowchart of the production process, simulating the costs for different percentages of the global demand of the vaccine market. The result showed that the lowest antigen production cost per milligram was US\$ 8.6 in simulations based on the addition of limiting equipment identified in the process and US\$ 7.7/mg in simulations based on global demand. The best financial indicators for the simulations based on the addition of limiting equipment were 40.3% gross margin, 40.2% return on investment, 46.4% internal rate of return and 2.5 years of time of return on investment. For simulations based on global demand, values range from 28.7% to 46.4% for gross margin, 22.1% to 40.4% for return on investment, and from 2.5 years to 4.5 years payback time. The production of the Gumboro disease antigen in a single use bioreactor proved to be financially viable.

1 Introdução

O mercado de carne de frango global vem apresentando crescimento ao longo dos últimos anos e até abril de 2022 atingiu recorde de produção de aproximadamente 110 milhões de toneladas. O Brasil atingiu a produção de aproximadamente 14,85 milhões de toneladas e um consumo local de 15,8 milhões de toneladas (USDA, 2026).

Uma enfermidade fortemente presente nas produções de aves é a doença infecciosa da Bursa (IBD), conhecida como doença de Gumboro. É uma das mais desafiadoras doenças da indústria avícola mundial, com um alto índice de contágio e traz sérios impactos econômicos para a produção de carne de frango (DEY *et al.*, 2019).

O primeiro relato dessa doença ocorreu na cidade de Delaware nos Estados Unidos em 1962. O agente causador do vírus pertence ao gênero *Avibirnavirus* da família *Birnaviridae*. É um vírus não envelopado, com genoma caracterizado por um RNA de fita dupla. As aves infectadas tornam-se suscetíveis a outros vírus, bactérias e parasitas, pois a doença afeta os tecidos linfóides presentes na bolsa de Fabricius, responsável pelo sistema imunológico (TESHOME; ADMASSU, 2015; ZACHAR *et al.*, 2016).

Segundo Mahgoub (2021), o vírus é considerado muito estável e possui resistência a diversos agentes químicos e desinfetantes. Ele suporta uma ampla faixa de pH que varia entre 2 e 12, é resistente ao tratamento com clorofórmio e éter e possui estabilidade ao calor,

no qual ainda permanece ativo, mesmo após um tratamento na temperatura de 56°C, por 5 horas. A vacinação é uma das formas de prevenção dessa doença e para combatê-la, diversas empresas na área de saúde animal estão desenvolvendo diferentes protocolos.

O objetivo desse estudo foi realizar a análise de viabilidade econômica do processo de produção do antígeno da doença de Gumboro, utilizando biorreatores do tipo *single use*.

2. Referencial Teórico

2.1 Vacinas

Vacina é um produto determinado para indução do sistema imune com o objetivo de prevenção ou controle de doenças infecciosas. Tem se demonstrado o modo mais efetivo de prevenção, salvando milhares de vidas todo ano. Habitualmente tem um agente que se parece com um microrganismo ocasionador das doenças e diversas vezes a vacina é produzida a partir de formas enfraquecidas ou inativadas do vírus, bactéria, suas toxinas ou de suas proteínas de superfícies (CROMMELIN; SINDELAR; MEIBOHM, 2019).

As vacinas de uso veterinário são significativas para a produção de alimentos, para o bem-estar animal, saúde animal e para saúde pública. São estratégias de baixo custo para o aumento de produtividade de alimentos, prevenção de doenças animais e diminuição ou prevenção da disseminação de infecções zoonóticas e de origem alimentar às pessoas (ROTH, 2011). Há diversos os tipos de vacinas veterinárias disponíveis, como por exemplo, as inativadas, de patógenos vivos atenuados, toxoides, subunidades recombinantes, baseados em RNA/DNA e baseados em vetores.

2.2 Produção de vírus

Na escala de produção industrial, os vírus são normalmente fabricados em animais, ovos embrionados, linhagens celulares e tecidos ou por cultura de células modificadas geneticamente. Distintos processos de produção são estabelecidos com base nas espécies de vírus e tipo da vacina (GENZEL *et al.* 2014).

A produção de vírus baseado no processo de cultura de células é usualmente dividida em 2 partes: processo de *upstream* e *downstream*. No primeiro deles, a denominada fase de expansão celular, são conduzidas consecutivas produções celulares, de maneira

a atingir elevadas quantidades de células. Em seguida, inicia-se a fase de replicação do vírus no qual as células são infectadas. Assim que a produção do vírus é concluída e a concentração viral atinge o seu pico, inicia-se o processo de *downstream* pela colheita da cultura e habitualmente segue-se as etapas de clarificação, inativação, purificação do vírus e a formulação da vacina (KIESSLICH; KAMEN, 2020).

É de extrema importância o conhecimento da interação entre o vírus e a célula hospedeira e diversos parâmetros críticos devem ser identificados, como a concentração da célula hospedeira no momento da infecção e a multiplicidade de infecção durante o processo produtivo. Não há um processo ideal para a produção viral, pois dependem do sistema adotado, das características da célula hospedeira e do vírus utilizado (GREIN; WEIDNER; CZERMAK, 2017).

2.3 Tecnologia de produção em equipamento *single use*

O conceito *single use* consiste em dispositivo de material plástico que é esterilizado através do processo de radiação gama e usado somente uma vez ou reutilizado para um único produto durante a produção em campanha, sendo em seguida descartado. A linha de produtos tem se disseminado nos últimos anos para englobar desde dispositivos básicos de bolsas de estocagem até biorreatores complexos (LANGER; RADER, 2014).

A utilização dos itens *single use* tem crescido conforme o aumento da disponibilidade. O seu uso não é recente na área de bio-farmacêutica, pois se verifica que nos anos 70 já havia tecnologias acessíveis como bolsas e filtros. O desenvolvimento do sistema *single use* tem sido aplicado em diversos processos a partir das duas décadas passadas, como preparação de meio de cultura, solução tampão e estocagem, cultivo celular, processo de *downstream*, formulação e enchimento-terminação de vacinas (LOPES, 2015).

Os biorreatores *single use* estão no objetivo de produção comercial de vacinas, conforme demonstrado semelhança em estudos de cinética de crescimento de células e rendimento de produção de vírus/proteína recombinante com relação à produção dos mesmos em biorreatores de aço inoxidável (GALLO-RAMÍREZ *et al.*, 2015). Segundo Junne *et al* (2016), o biorreator *single use* é categorizado com relação à tecnologia de agitação utilizada, como por exemplo: reator de tanque agitado (STR - Stirred Tank Reactor), com diferentes tipos de impelidores, de agitação tipo onda (wave-mixed) e de movimento orbital (orbital-shaken). Os exemplos estão na FIGURA 1.

Figura 1 – Exemplos de biorreatores do tipo *single use*: a e b – STR (Stirred Tank Reactor) e c - Wave-mixed.



Fonte: Domínio público.

Para Crommelin, Sindelar e Meibhom (2019), as vantagens da tecnologia *single use* são:

- i) Economia na tecnologia de produção, no qual os processos de esterilização e limpeza no local são removidos e são atividades críticas em uma planta com instalação de aço inoxidável;
- ii) Aumento da produção de lotes, pois o tempo de troca entre o término da produção do produto anterior e o próximo é curto, uma vez que não há atividades de limpeza e esterilização de equipamento;
- iii) Flexibilidade no projeto de instalações da planta industrial. As mudanças em sistemas e equipamentos de aço inoxidável podem ter impacto no projeto original dos mesmos, o qual impactará na qualificação da fábrica e validação de processos.

A falta de padronização dos componentes entre os fornecedores é uma das principais preocupações. Ter componentes padronizados entre os diferentes fornecedores facilitaria o usuário em caso de falta de suprimento, pois os componentes seriam intercambiáveis, independentemente do fornecedor. Além disso, a dependência de um único fornecedor é um aspecto a ser considerado. A ausência de diretrizes e regulamentações para especificar os testes e certificações necessárias pelos fornecedores resulta na escassez de padronização de material de construção, ocasionando uma série de requisitos que variam de acordo com o fornecedor, país e a área de qualidade (LOPES, 2015; CROMMELIN; SINDELAR; MELBHOM, 2019).

2.4 Análise de viabilidade econômica

A análise de viabilidade econômica consiste numa avaliação de rentabilidade e lucratividade do desempenho da organização, examinando o retorno sobre os investimentos feitos e a lucratividade declarada pelas vendas. O custo operacional e as despesas de capital são itens importantes e considerados na avaliação, conforme Gupta et. al. (2021).

Para Amos (2007), uma análise econômica pode ser feita por meio de diferentes metodologias, que permitem escolhas mais assertivas entre as alternativas concorrentes. Geralmente existem alternativas concorrentes e o objetivo é selecionar a opção com o maior retorno. Os indicadores comumente utilizados para análise são:

- a) Retorno sobre o investimento que é uma das formas de avaliação de desempenho de qualquer tipo de investimento, ou seja, um indicador que demonstra até que ponto o investimento realizado retorna como lucro ou prejuízo;
- b) Valor presente líquido que é calculado como a soma dos fluxos de caixa descontados em um determinado período, considerando uma taxa de juros anual;
- c) Taxa interna de retorno que considerada uma taxa de juros que se iguala aos fluxos de caixa entradas e saídas, ou seja, uma taxa de desconto que zera o valor presente líquido;
- d) Período de retorno do capital investido que é outro método simples de avaliação econômica, que calcula o período necessário alcançado para recuperar o investimento inicial.

3. Procedimento metodológico

O cálculo da pré-viabilidade econômica da produção da vacina de Gumboro foi realizado utilizando o *software* SuperPro Designer® versão 9 para simulações de balanços de massa baseados num processo alternativo proposto e otimizado da produção do antígeno da doença de Gumboro em biorreator do tipo *single use*. O custo de produção do produto principal foi calculado pelo *software* mediante a estimativa dos custos operacionais e do custo fixo de investimento (FCI - *Fixed Cost of Investment*).

O SuperPro Designer® é um *software* simulador de processos que auxilia na modelagem, análise e otimização de processos integrados. Sua aplicação pode ser feita em todo processo de desenvolvimento, do conceito do projeto até a operação e otimização. Possui muitos recursos que proporcionam cálculos de balanço de massa e energia de operações unitárias de um processo com base no banco de dados que contém componentes químicos, equipamentos e suas propriedades. Além disso, pode realizar o dimensionamento de equipamentos, estima o a duração do processo, a análise econômica e a avaliação de impacto ambiental. Tem aplicação em diversos setores como: químico, alimentício, farmacêutico, biotecnológico entre outros (CANIZALES, 2020; PAPAVASILEIOU, 2007).

3.1 Custo fixo de investimento

Foram considerados nos cálculos econômicos os custos de equipamentos, tubulações, assim como os custos com a instalação dos equipamentos, tubulação, instrumentação, isolamento, instalação elétrica, edificação, ambiente externo e instalações auxiliares. Também foram considerados os custos com engenharia, construção da planta, empreiteiro e contingência. Os custos estimados dos equipamentos foram estabelecidos através de cotações, dados públicos de fornecedores e *software* SuperPro Designer®. O *software* SuperPro Designer® também possui um banco de dados de custos de equipamentos com especificações pré-estabelecidas. Todos os custos são em dólar.

3.2 Custo operacional

O custo operacional abrange custos de mão de obra, laboratórios, consumíveis, utilidades, matérias-primas, entre outros. Pode variar de acordo com o volume de produção, conversão da matéria-prima em produto e de acordo com o preço das matérias-primas e consumíveis.

3.3 Capacidade de produção

Foi considerada a disponibilidade de horas anual de 7.920 horas (11 meses no ano, 30 dias por mês e 3 turnos por dia no total de 24 horas).

3.4 Célula para produção do antígeno

A linhagem celular empregada é originária de células tronco embrionárias de pato e tem aplicação em produção de vacinas para uso humano e veterinário. É uma célula que cresce em suspensão no meio de cultura. Possui estabilidade genética, alcança altos rendimentos e altas densidades celulares. É uma alternativa ao uso de ovos de galinha para a produção em escala industrial de vacinas para saúde humana e animal, de acordo com o **Quadro 1**.

Quadro 1 - Exemplos de vírus humano e animal que crescem na linhagem celular EB66.

Cepas da Influenza dos tipos A e B	Vírus da Cinomose canina
Sarampo	Aviadenovírus
Herpes tipo 1 e 2	Poxvírus
Alphavírus	Reovírus
Vírus da doença Newcastle	Doença infecciosa da Bursa

Fonte: Adaptado com dados de Brown e Mehtali (2010).

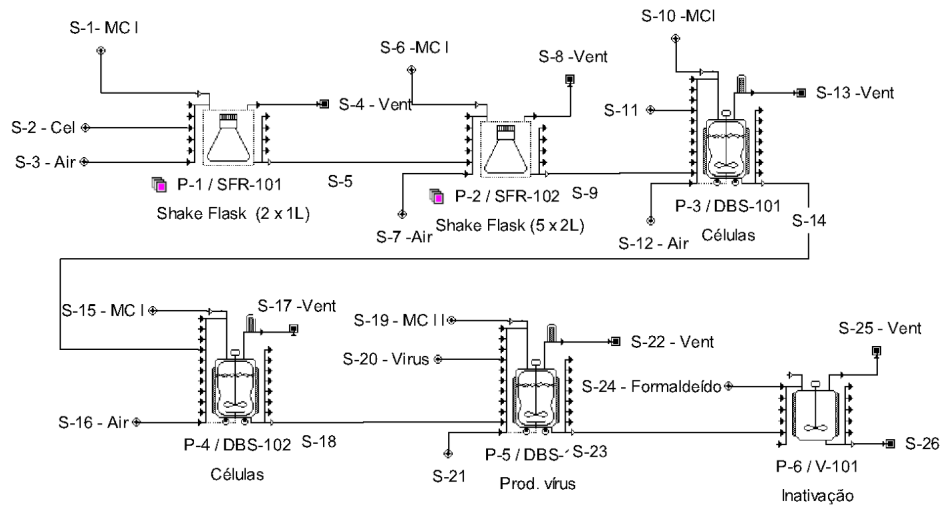
4. Resultados

Nas simulações dos cálculos dos custos realizadas foram adicionados os equipamentos limitantes das produções (gargalos) para identificação anual de produção, totalizando 22 simulações que foram realizadas com base na identificação do equipamento limitante para determinar o custo de produção do antígeno e quantidade de lotes produzidos anualmente com cenários baseados em porcentagem de market share de 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 40% e 50% da demanda global do antígeno para vacinação em aves.

A simulação do processo otimizado ilustrado na **FIGURA 2** consiste em duas etapas de produção:

- i) cultivo/expansão celular em frascos agitados e biorreatores de 10 e 100L, e
- ii) produção do vírus, ou seja, etapa de infecção em biorreator de 250 L e a inativação. O processo é classificado como batelada.

Figura 2 - Fluxograma do processo de produção otimizado.



Fonte: Simulação no software SuperPro Designer.

Os parâmetros controlados durante o processo são: temperatura, pH, oxigênio dissolvido e velocidade de agitação.

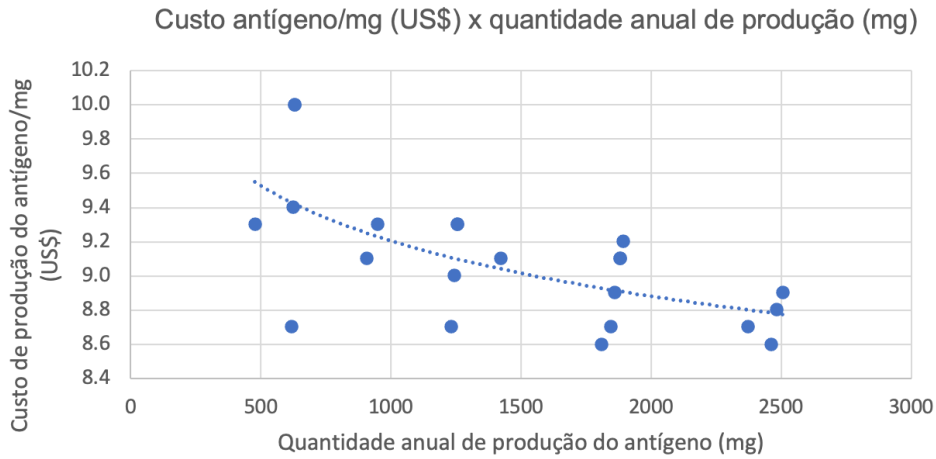
O processo de expansão celular foi simulado no SuperPro Designer® seguindo o modo de operação fermentação estequiométrica, *Batch Stoichiometric Fermentation*, com a seguinte estequiometria de massa: 100 meio de cultura → 50 biomassa + 50 WFI (*Water For Injection*).

Para a conversão do número de células em unidade de massa, foi utilizado um fator de conversão de 1mg para 10^6 células (GUEHENNEUX *et al.* 2020). Para a conversão da quantidade de vírus em massa foi usado o fator de conversão de $6,62 \times 10^{15}$ VP (*Virus Particle*)/mg, assumindo que as partículas virais são esféricas com o diâmetro de 60nm e densidade de 1,366 g/mL (ASHRAF, S.; PHIL, M. 2005).

4.1 Simulações dos cenários de porcentagem de adição dos equipamentos limitantes

O FIGURA 3 mostra os custos de produção do antígeno por miligrama obtidos das simulações realizadas com adição de equipamento limitante e a quantidade anual produzida.

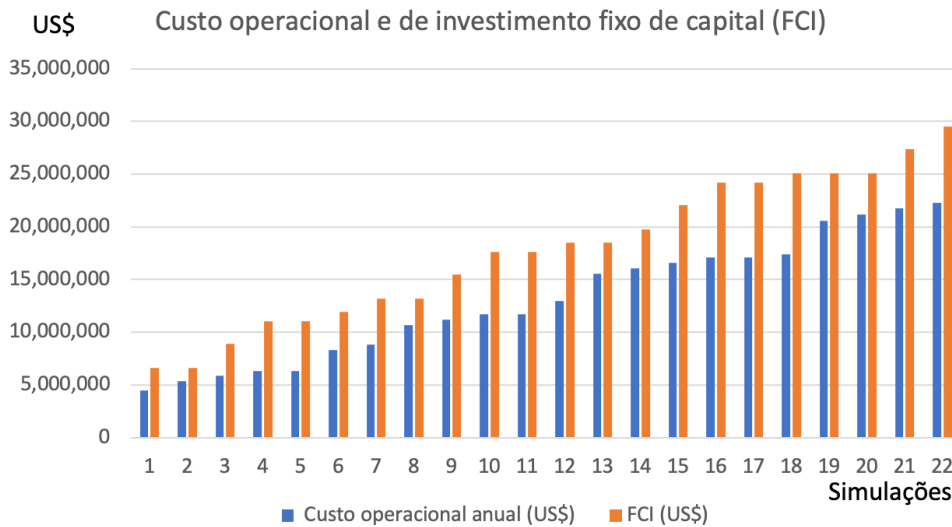
Figura 3 - Simulações do custo de produção e produção anual do antígeno com base na adição de equipamentos limitantes.



Fonte: elaborado pelo autor.

A FIGURA 4 mostra os custos operacionais e de investimento de capital fixo das simulações realizadas.

Figura 4 - Custo operacional versus investimento fixo de capital.

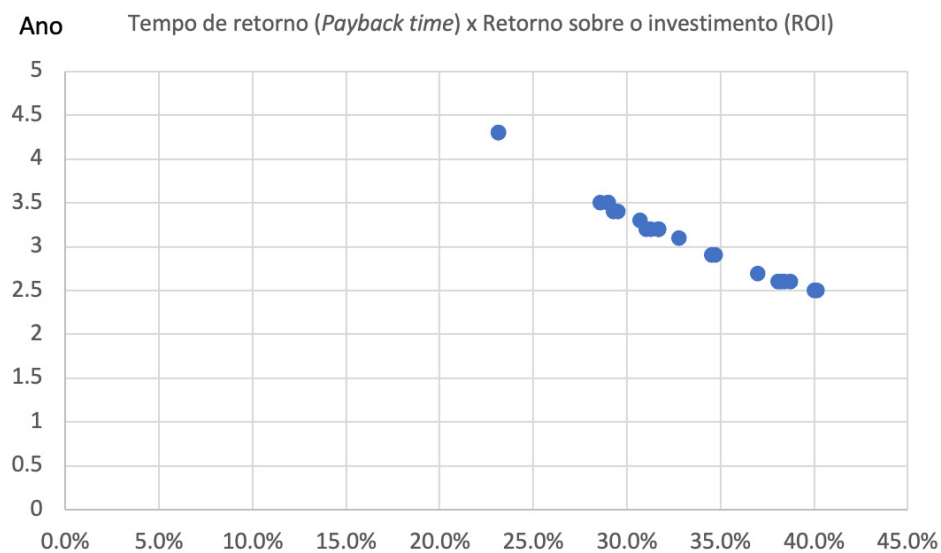


Fonte: elaborado pelo autor.

Para análise financeira, os seguintes parâmetros foram usados: taxa de inflação de aproximadamente 6% ao ano; tempo de vida do projeto de 15 anos; cálculo do NPV, valor presente líquido, a 12%; taxa de juros de empréstimo de 12% e depreciação de 10 anos que é o prazo utilizado para máquinas e equipamentos industriais para fins fiscais (receita federal do Brasil).

Os dados mostrados na FIGURA 5 foram informados pelo software por meio das simulações realizadas.

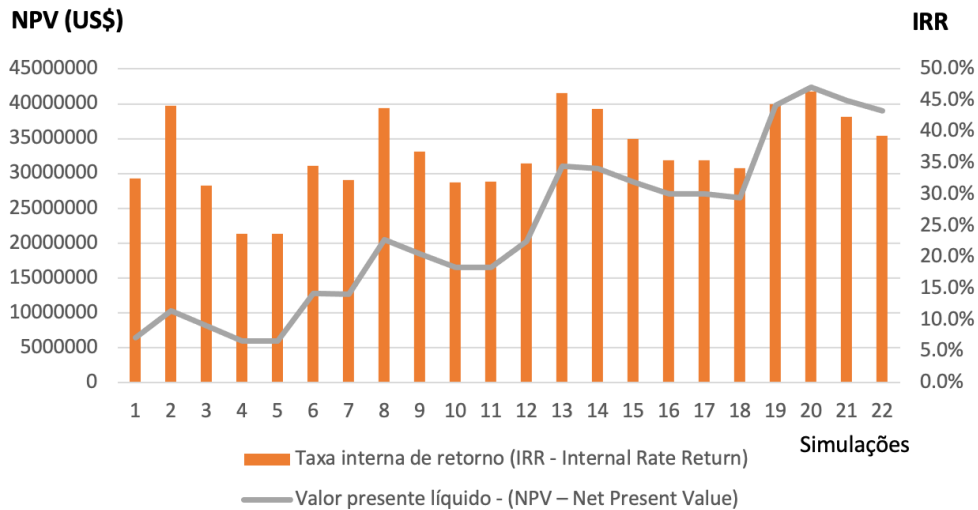
Figura 5 – Tempo de retorno versus retorno sobre o investimento.



Fonte: elaborado pelo autor.

Outros parâmetros obtidos das simulações foram: taxa interna de retorno (IRR – *Internal Rate of Return*) e valor presente líquido (*Net Present Value*), conforme mostra a FIGURA 6.

Figura 6 – Dados obtidos de valor líquido presente e taxa interna de retorno.



Fonte: elaborado pelo autor.

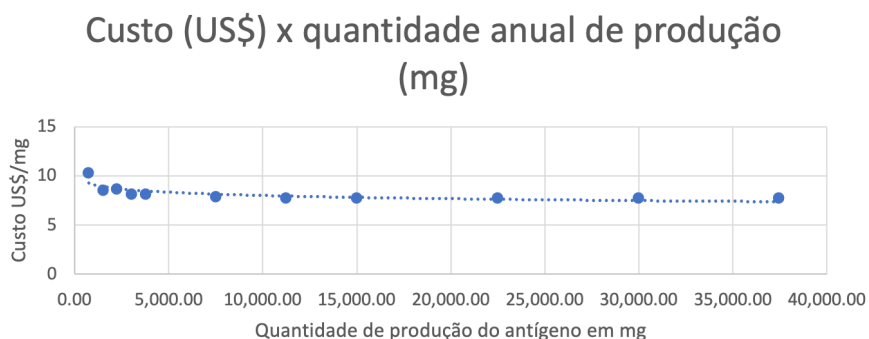
As taxas internas de retorno que apresentam maiores valores também são das simulações 2 (equipamento limitante foi o shake flask), 8 (equipamento limitante foi o biorreator), 13 (equipamento limitante foi o biorreator), 14 (equipamento limitante foi o biorreator), 19 (equipamento limitante foi o shake flask) e 20 (equipamento limitante foi o shake flask) e o valor presente líquido encontrado em todas as simulações são positivos, ou seja, indicando que o projeto ou investimento agrega valor ao investidor.

4.2 Simulações dos cenários de porcentagem de market share

Os cenários considerados foram baseados na demanda global de vacinação contra a doença de Gumboro e assim identificando a quantidade necessária de antígeno para atender a demanda como as mesmas porcentagens de *market share* de 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 10%, 15%, 20%, 30%, 40% e 50%.

A FIGURA 7 mostra a variação do custo do antígeno em dólar por miligrama com relação à quantidade de produção, conforme porcentagem da fatia do mercado simulada.

Figura 7 - Custo de produção de acordo com a quantidade de produção simulada do *market share*.



Fonte: elaborado pelo autor.

Das 11 simulações realizadas para identificar o custo conforme fatia do mercado, cerca de 55% apresentaram um custo abaixo de oito dólares por miligrama e apresentando valores a partir da simulação de volume de 10% da demanda global.

Os outros dados financeiros obtidos estão mostrados nas **Tabelas 1 e 2**.

Tabela 1 - Dados de Retorno sobre o investimento (ROI), tempo de retorno e margem bruta obtidos nas simulações com base nas porcentagens de *market share*.

% market share	Custo operacional anual (US\$)	FCI (US\$)	Retorno sobre o investimento (ROI - Return on investment)	Tempo de retorno (Payback time)	Margem bruta (Gross margin)
1%	7.683.161	13.089.166	22,1%	4,5 anos	28,7%
2%	12.740.720	19.796.451	33,6%	3,0 anos	40,9%
3%	19.237.653	30.779.322	32,6%	3,1 anos	40,5%
4%	24.288.160	37.468.529	36,8%	2,7 anos	43,7%
5%	30.417.934	47.553.962	36,3%	2,8 anos	43,6%
10%	59.383.140	91.717.724	38,2%	2,6 anos	44,9%
15%	87.517.816	133.660.698	39,7%	2,5 anos	45,9%
20%	116.132.027	177.011.385	40,1%	2,5 anos	46,1%
30%	174.291.424	266.429.982	39,9%	2,5 anos	46,1%
40%	231.073.793	351.898.397	40,4%	2,5 anos	46,4%
50%	288.833.705	440.250.828	40,4%	2,5 anos	46,4%

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 2 - Dados financeiros de taxa interna de retorno (TIR) e valor presente líquido (NPV) obtidos nas simulações com base nas porcentagens de *market share*.

% market share	Taxa interna de retorno	Valor presente líquido -
1%	22,6%	US\$ 6.307.416
2%	38,5%	US\$ 24.849.286
3%	37,1%	US\$ 36.489.216
4%	42,9%	US\$ 54.942.494
5%	42,2%	US\$ 68.243.783
10%	44,8%	US\$ 143.129.349
15%	46,9%	US\$ 221.840.253
20%	47,4%	US\$ 298.298.141
30%	47,1%	US\$ 446.844.851
40%	47,9%	US\$ 601.829.234
50%	47,9%	US\$ 752.215.440

Fonte: elaborado pelo autor.

5. Conclusões

Perante os resultados obtidos e as simulações realizadas para o processo de produção do antígeno da doença de Gumboro em equipamentos do tipo *single use*, pode-se concluir que:

- O menor custo de produção do antígeno foi de US\$ 8,6/mg das simulações realizadas com base na adição dos equipamentos limitantes identificados no processo e de US\$ 7,7/mg nas simulações baseadas na demanda global;
- Os melhores indicadores financeiros para as simulações baseadas na adição de equipamentos limitantes foram de 40,3% de margem bruta, 40,2% de retorno sobre o investimento, 46,4% de taxa interna de retorno e de 2,5 anos de tempo de retorno do investimento. Para as simulações baseadas na demanda global, os valores variam de 28,7% a 46,4% para margem bruta, 22,1% a 40,4% para o retorno sobre o investimento e de 2,5 anos a 4,5 anos de tempo de retorno sobre o investimento.

A produção do antígeno da doença de Gumboro em biorreator *single use* mostrou-se financeiramente viável e recomenda-se que as empresas avaliem qual a melhor opção de alcance da porcentagem da demanda global do mercado das simulações realizadas com base nos objetivos estratégicos e também identifiquem o investimento para validar a simulação do processo otimizado deste trabalho.

6. Referências

AMOS, S.J. **Skills & Knowledge of Cost Engineering**. Morgantown: the Association for the Advancement of Cost Engineering, 2007. 481p.

ASHRAF, S.; PHIL, M. Studies on Infectious Bursal Disease Virus. 2005. 233p. Dissertação (Degree Doctor of Philosophy), The Ohio State University, 2005.

BROWN, S. W.; MEHTALI, M. The avian EB66 cell line, application to vaccines, and therapeutic protein production. **PDA journal of pharmaceutical science and technology**, v. 64, n. 5, p. 419-425, 2010.

CANIZALES, L. *et al.* SuperPro Designer®, User-Oriented Software Used for Analyzing the Techno-Economic Feasibility of Electrical Energy Generation from Sugarcane Vinasse in Colombia. **Processes**, v. 8, n. 9, p. 1180, 2020.

CROMMELIN, D. JA; SINDELAR, Robert D.; MEIBOHM, Bernd (Ed.). **Pharmaceutical Biotechnology: Fundamentals and Applications**. 5. ed. Springer, 2019.

DEY, S. *et al.* Infectious bursal disease virus in chickens: prevalence, impact, and management strategies, **Veterinary Medicine: Research and Reports**, v. 10, p. 85-97, 2019.

GALLO-RAMÍREZ, L. E. *et al.* Bioreactor concepts for cell culture viral vaccine production. **Expert Review of Vaccines**, v. 14, n. 9, p. 1181-1195, Mar. 2015.

GREIN, T. A.; WEIDNER T.; CZERMAK, P. Concepts for the Production of Viruses and Viral Vectors in Cell Cultures In: GOWDER, S. J. T. **New Insights into Cell Culture Technology**. London: IntechOpen Limited, 2017. Cap 6, p. 173-192.

GUEHENNEUX, F *et al.* **Food products comprising avian stem cells**. PCT, n. PI WO 2020/104650 A1. nov. 2019, 28 maio 2020.

GUPTA, P. *et al.* Economic assessment of continuous processing for manufacturing of biotherapeutics. **Biotechnology Progress**, v. 37, n. 2, p. 1-16, 2021.

HEALTH FOR ANIMALS. **Innovation in animal health**: Brussels: Health For Animals, 2016.

JUNNE, S. *et al.* Cultivation of cells and microorganisms in wave-mixed disposable bag bioreactors at different scales. **Chemie Ingenieur Technik**, v. 85, n. 1-2, p. 57-66, 2013.

KIESSLICH, S.; KAMEN, A. A. Vero cell upstream bioprocess development for the production of viral vectors and vaccines. **Biotechnology Advances**, v. 44, p. 107608, 2020.

LANGER, E. S.; RADER, R. A. Single-use technologies in biopharmaceutical manufacturing: A 10-year review of trends and the future. **Engineering in Life Sciences**, v. 14, p. 238-243, 2014.

LOPES, A. G. Single-use in the biopharmaceutical industry: A review of current technology impact, challenges and limitations, **Food and Bioproducts Processing**, v. 93, p. 98-114, 2015.

MAHGOUB, H. A. An overview of infectious bursal disease, **Archives of Virology**, v. 157, p. 2047-2057, June. 2012.

PAPAVASILEIOU, V. *et al.* Optimize manufacturing of pharmaceutical products with process simulation and production scheduling tools. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 85, n. 7, p. 1086-1097, 2007.

ROTH, J. A. Veterinary vaccines and their importance to animal health and public health. **Procedia in Vaccinology**, v. 5, p. 127-136, 2011.

TESHOME, M.; FENTAHUNAND, T.; ADMASSU, B. Infectious bursal disease (Gumboro disease) in Chickens. **British Journal of Poultry Sciences**, v. 4, n. 1, p. 22-28, 2015.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - Foreign Agricultural Service. **Livestock and Poultry: World Markets and Trade**. Washington: United States Department of Agriculture, 2026.

WORLDMETER. **Current World Population**. Disponível em: <https://www.worldometers.info/world-population/> Acesso em: 14 maio 2022.

ZACHAR, T. *et al.* A 5-year study of the incidence and economic impact of variant infectious bursal disease viruses on broiler production in Saskatchewan, Canada. **The Canadian Journal of Veterinarian Research**, v. 80, p. 255-261, Apr. 2016.

XXXXXXXXXX



Artigo Técnico

2,4,6-Tricloroanisol como Desafio à Qualidade de Vinhos: Cork Taint, Detecção e Controle

2,4,6-Trichloroanisole as a Quality Challenge in Wines: Cork Taint, Detection and Control

Lydia Fumiko Yamaguchi^a, Hiléia dos Santos Barroso^b, Amanda Marcante^c, Jamille Moreira Moraes^c, Ana Carolina de Souza Canario^c, Sandra Souza de Oliveira^c, Helena Correa de Araújo Gomes^{c*}

^a Núcleo de Tecnologias Avançadas em Bem-Estar e Saúde (NUTABES), Fundação de Apoio ao IPT, São Paulo-SP, Brasil.

^b Laboratório de Biotecnologia Industrial (LBI), Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

^c Núcleo de Tecnologias Avançadas em Bem-Estar e Saúde (NUTABES), Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo-SP, Brasil.

Palavras-chave: vinho; controle de qualidade; contaminação; haloanisóis.

Keywords: wine; quality control; contamination; haloanisoles.

* e-mail: helenagomes@ipt.br

Resumo

O mercado mundial de vinhos, após um período de retração entre 2020 e 2021 em decorrência da pandemia de COVID-19, apresentou retomada do crescimento a partir de 2023, com aumentos significativos no consumo global. Nesse contexto de recuperação e expansão, o controle da qualidade tornou-se ainda mais relevante para a sustentabilidade e competitividade do setor vitivinícola. Entre os principais desafios associados à qualidade do vinho destaca-se a presença de haloanisóis, em especial o 2,4,6-tricloroanisol (TCA), composto responsável por aromas e sabores indesejáveis descritos como mofo. Estima-se que a contaminação por TCA seja responsável pela condenação de aproximadamente 4% da produção mundial de vinhos, resultando em expressivas perdas econômicas e prejuízos à imagem dos produtores. Diante desse cenário, o presente artigo tem como objetivo discutir os principais aspectos relacionados aos haloanisóis em vinhos, abordando sua origem, a sensibilidade do sistema olfativo humano, os métodos de extração e análise, bem como as estratégias de prevenção e remediação da presença desses compostos em vinhos e rolhas de cortiça.

Abstract

The global wine market, after experiencing a period of contraction between 2020 and 2021 due to the COVID-19 pandemic, resumed growth in 2023, with substantial increases in worldwide consumption. In this context of recovery and expansion, quality control has become increasingly important for the sustainability and competitiveness of the wine industry. Among the main challenges related to wine quality is the presence of haloanisoles, particularly 2,4,6-trichloroanisole (TCA), a compound responsible for undesirable musty and cork taint aromas and flavors. It is estimated that TCA contamination leads to the rejection of approximately 4% of the global wine production, resulting in significant economic losses and damage to producers reputations. Therefore, this article aims to discuss key aspects related to haloanisoles in wine, including their origin, human sensory sensitivity, extraction and analytical methods, as well as prevention and remediation strategies for their presence in wines and cork closures.

1 Introdução

O mercado de vinhos mundial tem crescido de forma vertiginosa e em 2022 chegou ao valor consumo estimado de 232 milhões de hectolitros, com produção de 258 milhões de hectolitros (OIV, 2022) chegando ao valor de cerca de 37 bilhões de Euros exportados. O Brasil atinge a posição de 15o produtor mundial com 3,2 milhões de hectolitros. Apesar dessa grande demanda por vinhos, cerca de 4 % das garrafas de vinho mundiais são descartadas devido a uma condição conhecida como “cork taint” ou “gosto a rolha” que é a presença de compostos que conferem sabor e odor desagradáveis de mofo, papel molhado, umidade, que diminuem drasticamente a qualidade do vinho (ZHOU *et al.*, 2024). Os principais responsáveis por esse problema são os anisóis, que são contaminantes provenientes da cortiça; dentre estes o principal é o 2,4,6-Tricloroanisol (TCA), que foi identificado pela primeira vez em 1981 (BUSER; ZANIER; TANNER, 1982) e outros como 2,3,4,6-Tetracloroanisol, Pentacloroanisol e 2,4,6-Tribromoanisol que foram identificados em 1989 como causadores do mesmo efeito. Estes compostos mesmo em concentrações baixas (ng/L) são capazes de provocar mudanças organolépticas perceptíveis no vinho. A origem desses compostos pode ser atribuída a metilação provocada por fungos dos compostos 2,4,6-Triclorofenol, 2,3,4,6-Tetraclorofenol, Pentaclorofenol e 2,4,6-Tribromofenol (TINDALE *et al.*, 1989; WHITFIELD; LY NGUYEN; LAST, 1991; WHITFIELD; LY NGUYEN; TINDALE, 1991; AMON; VENDEPEER; SIMPSON, 1989).

2 Procedimento metodológico

O presente estudo foi realizado como uma revisão da literatura, de natureza qualitativa e exploratória. O primeiro relato da presença de TCA em vinhos foi realizado em 1982, e, dessa forma, a busca bibliográfica inicial foi realizada de 1982 a 2025, utilizando as seguintes bases de dados: Google Acadêmico, Scopus e PubMed. Foram encontrados 291 artigos, em qualquer língua, utilizando o termo “cork taint in wine”. Foram selecionados os artigos com base na leitura dos títulos e resumos, priorizando aqueles que abordavam principalmente estudos sobre sensibilidade humana (6%), fontes de anisóis (8%), métodos de extração e análises físico-químicas desses compostos (64%), sensores olfatórios (4%), bem como estratégias de prevenção e remediação de sua formação (9%) e revisões bibliográficas abordando todos os aspectos (9%), sendo que mais da metade dos trabalhos estavam relacionados à temática da extração e detecção. Após essa etapa, realizou-se a leitura completa dos artigos selecionados, e o presente trabalho foi elaborado a partir dessas fontes, além de outros estudos por elas referenciados, considerados relevantes para a descrição e a consolidação dos dados apresentados.

3 Resultados e discussão

3.1 Sensibilidade humana ao TCA

O TCA (2,4,6-tricloroanisol), principal composto responsável por odores e sabores desagradáveis no vinho, também é encontrado em cafés, onde é conhecido como defeito Rio (“Rio defect”), que afeta cerca de 20% dos cafés brasileiros (ROMANO *et al.*, 2022). Além disso, o TCA pode estar presente em outros produtos, como carne de aves, água tratada para consumo humano, entre diversos alimentos.

Tabela 1: Limiar sensorial, odor e sabor dos diferentes haloanisóis.

Composto	Odor e sabor	Limiar sensorial (ng/L)
TCA	Embolorado	0,03-50
TeCA	Embolorado-empoleirado	5-15
TBA	Embolorado	3.4-7.9
PCA	Empoleirado	10.000

TCA: 2,4,6-Tricloroanisol, TeCA: Tetracloroanisol, TBA: 2,4,6-Tribromoanisol, PCA: Pentacloroanisol.
Adaptado de: Fontana, 2012.

O sistema olfativo humano é extremamente sensível ao TCA. No caso dos vinhos, o limiar sensorial médio situa-se entre 1,4 e 1,5 ng/L, podendo variar de acordo com fatores como a matriz do alimento, características individuais do sistema olfativo, o modo de avaliação sensorial e a supressão olfativa. A presença de álcool, como ocorre nos vinhos, pode aumentar significativamente esse limiar sensorial, enquanto na água ele é consideravelmente menor, em torno de 0,03 ng/L (TABELA 1).

Vinhos mais aromáticos, especialmente os tintos, tendem a mascarar o impacto sensorial do TCA, ao contrário de vinhos brancos e espumantes, nos quais o limiar sensorial é mais baixo. Indivíduos treinados, com maior experiência na detecção do TCA, bem como aqueles com maior sensibilidade olfativa, apresentam limiares ainda menores para esse composto.

O modo de avaliação sensorial também influencia significativamente a percepção do TCA. Ensaios orthonasais, que avaliam apenas o odor, apresentam limiares mais elevados quando comparados à avaliação retronasal, na qual os compostos voláteis são transportados da cavidade oral para a cavidade nasal. Essa diferença é atribuída, em parte, ao aquecimento dos compostos na boca, que aumenta sua volatilidade no modo retronasal.

Após a exposição ao TCA, mesmo em concentrações muito baixas, o sistema olfativo pode perder rapidamente a sensibilidade, tornando-se menos responsivo a outros aromas. Embora esse mecanismo ainda não esteja totalmente elucidado, evidências indicam que o TCA interfere na transdução dos sinais olfativos, resultando na atenuação dos aromas característicos do vinho. (MCKAY; BUICA, 2020).

3.2 Fontes de anisóis em vinhos

A presença de compostos altamente halogenados na natureza provém de atividades antropogênicas. Os precursores de haloanisóis são os compostos halofenólicos (como o pentaclorofenol, 2,4,6-triclorofenol, etc) (FIGURA 1) que foram utilizados por muitas décadas como agrotóxicos (herbicidas, inseticidas, fungicidas, dentre outros) baseados em clorofenóis. Esses compostos eram utilizados principalmente no tratamento de madeira, papelão e materiais têxteis, entre outros. Em razão do uso intensivo desses produtos à época, a preocupação com a presença de TCA aumentou significativamente (SIMPSON; SEFTON, 2007). Os policlorofenóis são relativamente estáveis, porém, são degradados lentamente, podendo perder os átomos de cloro, tornando-se triclorofenóis que persistem por muito tempo na natureza e se acumulam no solo ou em cascas de árvores, como no caso da cortiça. Uma vez nas cascas ou na madeira, pode ocorrer metabolização pelos microrganismos como fungos dos gêneros *Fusarium*, *Trichoderma*, *Penicillium*, etc., que são capazes de promover uma *O*-metilação nos triclorofenóis com a formação de TCA em um rendimento de 5 a 25 % de eficiência (BUSER; ZANIER; TANNER, 1982). Estudos recentes indicam que *Aspergillus versicolor*, *Paecilomyces variotti* e *Trichoderma atroviride* são fungos comumente encontrados em construções de madeira e são eficientes conversores de triclorofenóis em TCA (EKBERG, 2021; VELOSO *et al.*, 2024). Este processo ocorre com o intuito de promover uma destoxificação de triclorofenóis que são altamente tóxicos a estes microrganismos. Apesar desses biocidas terem sido banidos há muito tempo (na década de 80 em muitos países), ainda são encontrados em locais remotos transportados por vias pluviais e precipitações, e a sua biodegradação é reduzida por terem um número limitado de organismos que podem biotransformá-los. Além dessa fonte, há outras formas de acúmulo de triclorofenóis em cortiça. Uma das formas é a cloração de fenóis presentes na casca da árvore. Esses fenóis são formados pela degradação de lignina ou pela biossíntese destes por fungos utilizando a via do chiquimato (JUNG; SCHAEFER, 2010). Dessa forma, com a disponibilidade do fenol na cortiça, a cloração ocorre pela disponibilidade do cloro através de agentes clorados utilizados no processo de tratamento da cortiça, como por exemplo, no branqueamento de cilindros de cortiça com solução de hipoclorito de cálcio ou fervura das placas de cortiça com água de torneira com Cl₂. Esse procedimento era

muito comum antes de 1990, porém foi banido pelos produtores de rolha e é desencorajado pela Confederação de Rolhas da Europa. O hipoclorito foi substituído por peróxido de hidrogênio que não causa os problemas com haloanisóis (TARASOV *et al.*, 2022) (FIGURA 1).

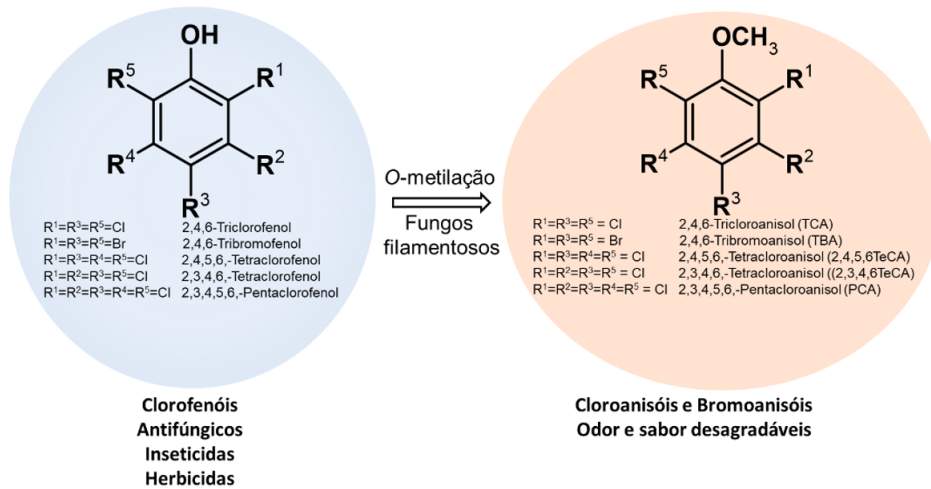


Figura 1. Esquema de biotransformação por fungos filamentosos de Triclorofenol, Tribromofenol, Tetraclorofenol e Pentaclorofenol em Tricloroanisol (TCA), Tribromoanisol (TBA), Tetracloroanisol (TeCA) e Pentacloroanisol (PCA).

A formação de TCA pode ocorrer também durante a produção do vinho, através do ar e equipamentos contaminados, pois os clorofenóis, utilizados como antifúngicos de materiais feitos de madeira, como barris, teto de galpões, paredes, pallets e pintura, podem ser transformados em TCA por fungos filamentosos e por ser volátil, contaminar o ar e outros equipamentos utilizados na produção de vinho. Esse cenário é mais comum em plantas de produção de vinhos mais antigas, de uma época que a utilização dos precursores de TCA era habitual. Porém, mesmo em plantas recentes, a contaminação pode ocorrer devido à utilização de biocidas baseados em bromofenóis, que são permitidos para o tratamento de madeiras, preservativos de tintas, laminados, etc., com a mesma finalidade e da mesma forma que os clorofenóis podem sofrer reações de O-metilação com a formação de 2,4,6-tribromoanisóis (TBA) que têm o mesmo efeito indesejável que o TCA (FIGURA 1). Em um estudo conduzido em três vinícolas, foi observada a presença de TBA no ar ambiente, nos vinhos armazenados em barris de aço inoxidável ou de madeira e nas paredes das instalações, com concentrações variando entre 2.000 e 2.185 ng/L (CHATONNET *et al.*, 2004).

3.3 Métodos de extração e análise de halofenóis e haloanisóis em vinhos e rolhas de cortiça

3.3.1 Extração em vinhos

Considerando as baixas concentrações desses compostos nas diferentes matrizes, torna-se recomendável a utilização de metodologias de extração altamente eficazes e/ou de etapas de pré-concentração, a fim de viabilizar sua detecção. Em razão da presença dos analitos em níveis traço, da elevada complexidade das matrizes e da necessidade de redução do consumo de materiais e solventes durante a extração, têm sido realizados esforços no sentido da miniaturização dos processos de extração. Esses avanços buscam manter ou aprimorar a sensibilidade, a seletividade e a robustez analítica dos métodos desenvolvidos.

3.3.1.1 Microextração em fase líquida (LPME)

A microextração em fase líquida possibilita a extração e concentração do analito de uma forma miniaturizada utilizando-se a matriz que seria a fase doadora, aquosa, nesse caso o vinho, e uma fase aceptora, um líquido imiscível com a água que favorece a transferência de analitos da fase aquosa para a fase aceptora, reduzindo a razão volumétrica entre eles. Esse efeito é obtido utilizando-se uma gota de um solvente apolar na ponta de uma seringa ou uma membrana separando as fases, imersos na fase aquosa. Assim no primeiro caso, os analitos com elevado coeficiente de partição são transferidos por difusão para a gota do solvente apolar em volumes grandes (1-5 mL) para gotas (5-50 µL). A fase orgânica é então recolhida na seringa e são injetados diretamente nos aparelhos como CG-EM (cromatografia a gás acoplado a um espectrômetro de massas). Apesar da miniaturização e rapidez do método, esse procedimento não é robusto, podendo haver perda da gota por agitação, ou em líquidos muito viscosos ou com partículas presentes na matriz. Em estudos realizados por Marquez-Sillero *et al.* (2011) e Márquez-Sillero, Cárdenas e Valcárcel (2011), foram utilizados líquidos iônicos para extração de TCA em água e vinhos com o intuito de diminuir as desvantagens de utilizar um solvente orgânico, resultando em uma maior reprodutibilidade do método. O mesmo problema não ocorre com a extração em membranas, cuja fase orgânica encontra-se em uma membrana hidrofóbica porosa, o qual é exposto à amostra (JEANNOT; CANTWELL, 1996; DE OLIVEIRA *et al.*, 2008; FONTANA, 2012).

3.3.1.2 Microextração em fase sólida (SPME)

Essa metodologia é a mais explorada na literatura para extração de compostos semivoláteis e voláteis de vinhos. É uma técnica que tem a vantagem de não utilizar solventes e é de fácil automação, a qual se baseia em uma haste de sílica fundida recoberta com um filme de adsorvente que pode ser polimérico (polidimetilsiloxano, poliacrilato ou Carbowax) ou de um sólido, por exemplo, carvão ativo microparticulado. A extração ocorre ao mergulhar a haste no líquido onde o analito se encontra ou no seu head space (HS), espaço ocupado pelos compostos voláteis da amostra acondicionada em um sistema fechado. A transferência de massa ocorre até atingir o equilíbrio de partição ou de adsorção do analito entre o filme e o meio. Após a fase de extração, o filme impregnado é exposto à dessorção térmica e os componentes são geralmente analisados por cromatografia a gás acoplada a espectrometria de massas (CG-EM) (VALENTE; AUGUSTO, 2000).

3.3.1.3 Extração sortiva em barra magnética (SBSE)

Nessa técnica, os analitos são extraídos de uma fase líquida aquosa para uma barra magnética de agitação recoberta por uma fase polimérica. A principal vantagem da SBSE em relação à SPME é a maior quantidade de fase extratora, o que proporciona maior capacidade de extração e, conseqüentemente, maior sensibilidade analítica. No entanto, essa elevada capacidade pode também favorecer a coextração de compostos indesejáveis da matriz (LIZARRAGA *et al.*, 2004).

3.3.1.4 QuEChERS

A técnica QuEChERS, acrônimo de Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe (rápido, fácil, barato, eficiente, robusto e seguro), foi desenvolvida para a extração de diversos analitos em matrizes alimentares e caracteriza-se pela extração com solvente orgânico, seguida da separação de fases por salting out e centrifugação (ANASTASSIADES *et al.*, 2003). Entre as principais vantagens desse método, destacam-se o uso reduzido de amostra e de solventes, bem como a elevada eficiência de extração, decorrente da maior interação entre a amostra e o adsorvente. Essas características tornam o QuEChERS adequado para a extração de uma ampla gama de analitos com diferentes propriedades químicas, compatível com diversas técnicas cromatográficas. Para a extração de TCA, foi empregado um método QuEChERS modificado, no qual a extração foi realizada com tolueno e a separação de fases promovida pela adição de $MgSO_4$ e NaCl. A etapa de limpeza (clean-up) foi conduzida

em baixas temperaturas, utilizando CaCl_2 , amina primária e secundária (PSA) e MgSO_4 , de modo a minimizar interferentes e reduzir o efeito de matriz (MAGGI *et al.*, 2008).

3.3.2 Extração de TCA de rolhas de cortiça

Existem duas abordagens principais para a avaliação da presença de tricloroanisóis em rolhas de cortiça: a determinação do TCA total e do TCA liberável. O TCA total corresponde à quantidade total desse composto presente na rolha, sendo expressa em ng/g de rolha. Já o TCA liberável refere-se à fração do composto que é liberada quando a rolha entra em contato com o vinho, sendo expressa em ng/L. A extração do TCA liberável foi padronizada por métodos analíticos estabelecidos pela norma ISO 20752:2014(E) (ISO, 2014) e pela Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV, 2009). Ambos os protocolos recomendam a extração por maceração durante 24 horas, utilizando uma solução hidroalcoólica a 12%. No caso do método da OIV, essa extração pode ser realizada diretamente com vinho branco contendo entre 10 e 12% de álcool.

Uma alternativa à maceração é a extração por sonicação em banho ultrassônico por aproximadamente 2 horas, apresentando resultados comparáveis aos obtidos pelos métodos da ISO e da OIV (VESTNER; FRITSCH; RAUHUT, 2010). No entanto, a extração por maceração é considerada uma análise destrutiva, pois as rolhas tornam-se inutilizáveis, principalmente devido à extração de compostos fenólicos responsáveis pela alteração de sua coloração. Em função disso, as principais empresas fabricantes de rolhas têm buscado métodos alternativos para o controle de qualidade individual das rolhas. Nesse contexto, a partir da década de 1990, foram desenvolvidos métodos sensoriais não destrutivos. Em um dos métodos, cada rolha é acondicionada em frasco de vidro de 100 mL contendo um volume definido de água e mantido fechado por 24 horas à temperatura ambiente, até que seja atingido o equilíbrio dos compostos voláteis liberados pela rolha. Após esse período, o aroma de cada frasco é avaliado por um provador experiente. Em um estudo no qual aproximadamente 2.000 rolhas foram analisadas por esse método, cerca de 6% foram descartadas e posteriormente submetidas à análise por HS-SPME-GC-MS (headspace solid-phase microextraction coupled to gas chromatography–mass spectrometry) para validação dos resultados. Dentre essas rolhas descartadas, 25,5% apresentaram níveis de TCA inferiores a 1 ppt, 21,5% entre 1 e 5 ppt e 9,5% superiores a 5 ppt. As demais rolhas descartadas continham outros compostos responsáveis por odores desagradáveis (MACKU *et al.*, 2009). Apesar da eficácia do método sensorial, sua aplicação é limitada por ser demorada e não automatizada. Dessa forma, a indústria passou a desenvolver métodos analíticos mais rápidos, como o aquecimento das rolhas em frascos de vidro seguido da análise dos vapores por cromatografia gasosa. Atualmente, algumas empresas dispõem de equipamentos capazes de analisar individualmente cada rolha em aproximadamente 20 segundos.

A extração do TCA total é, em geral, realizada por métodos que assegurem a remoção extensiva dos haloanisóis da matriz. Para esse fim, são comumente empregadas técnicas como a extração por Soxhlet e a maceração do material previamente congelado e moído, estratégias que visam reduzir a perda de compostos voláteis e aumentar a eficiência da extração por meio do aumento da superfície de contato. Os solventes mais frequentemente utilizados nesses procedimentos incluem diclorometano, n-pentano, n-hexano e metanol. Após a etapa de extração, o solvente é normalmente evaporado para concentrar a amostra antes da análise. No entanto, para evitar essa etapa de evaporação, podem ser empregadas técnicas alternativas, como HS-SPME ou SBSE. Além disso, outros métodos descritos para a extração de TCA em vinhos podem ser adaptados para rolhas de cortiça, bem como a análise direta das rolhas por dessorção térmica (TDA) (CARASEK; CUDJOE; PAWLISZYN, 2007; RIU *et al.*, 2006).

3.3.3 Análise química de halofenóis e haloanisóis

Considerando a natureza volátil desses compostos, as análises devem ser conduzidas de modo a minimizar perdas por evaporação, especialmente durante as etapas de concentração das amostras. Assim, as metodologias analíticas empregadas devem apresentar elevada seletividade, sensibilidade e simplicidade, permitindo a determinação e quantificação inequívoca desses compostos em níveis traço.

3.3.3.1 Cromatografia a gás acoplada a diferentes detectores

A cromatografia a gás, considerando as propriedades físico-químicas dos haloanisóis e halofenóis, é considerada a técnica de escolha para a análise desses compostos (FONTANA, 2012). O acoplamento dessa técnica a diferentes detectores, como espectrometria de massas (EM), espectrometria de massas em tandem (EM/EM) e detector de captura de elétrons (ECD), entre outros, possibilita a detecção inequívoca desses analitos com elevada sensibilidade.

A análise de triclorofenóis pode ser facilitada por meio de etapas de derivatização, uma vez que esses compostos apresentam menor volatilidade em comparação aos haloanisóis e são mais suscetíveis a interferências da matriz (OZHAN *et al.*, 2009). Nesse contexto, a derivatização com anidrido acético, resultando na formação de derivados acetilados, é frequentemente recomendada (ITO *et al.*, 2008).

O detector de captura de elétrons (ECD) apresenta elevada sensibilidade e é específico para compostos halogenados, sendo amplamente utilizado na detecção de TCA em vinhos e água, com limites de detecção reportados tão baixos quanto 0,177 ng/L em vinhos (VLACHOS *et al.*, 2007). No entanto, apesar da alta sensibilidade, uma limitação desse detector está na dificuldade de confirmação inequívoca da identidade dos compostos analisados (CALLEJÓN *et al.*, 2016).

O detector mais recomendado para a análise de haloanisóis é a espectrometria de massas em tandem (EM/EM), especialmente em sistemas de triplo quadrupolo. Essa técnica oferece elevada sensibilidade aliada a alta seletividade quando operada no modo de monitoramento de reações múltiplas (MRM), permitindo a detecção inequívoca dos analitos e reduzindo significativamente a ambiguidade analítica (JELÉN; DZIADAS; MAJCHER, 2013) (TABELA 2). Além disso, o uso do MRM contribui para a minimização de interferências provenientes da matriz, que podem ser mais pronunciadas quando se utilizam outros tipos de detectores (PIZARRO; PEREZ-DEL-NOTARIO; GONZALES-SAIZ, 2007).

Tabela 2. Íons precursores, seus fragmentos e as energias de colisão ideais para detecção dos cloroanisóis.

Composto	Ion quantificador (m/z)	Energia de Colisão (V)	Ion qualificador1 (m/z)	Energia de Colisão(V)	Ion qualificador 2 (m/z)	Energia de Colisão(V)
TCA	210-195	10	212-197	10		
TeCA	231-203	15	246-203	20		
TBA	344-329	10	346-303	25	346-331	10
PCA	280-237	30	265-237	10	280-269	15

TCA: 2,4,6-Tricloroanisol, TeCA: Tetracloroanisol, TBA: 2,4,6-Tribromoanisol, PCA: Pentacloroanisol. Adaptado de Jové *et al.*, 2021

Na análise de água, limites de detecção inferiores a 1 ng/mL já foram reportados (YU *et al.*, 2014). Para vinhos, alguns estudos relataram limites de detecção \leq 0,1 ng/L para cloroanisóis e de aproximadamente 0,5 ng/L para TBA (HJELMELAND *et al.*, 2012).

Paralelamente às técnicas cromatográficas, tecnologias emergentes, como o nariz eletrônico (electronic nose, e-nose), têm sido investigadas como sensores para a detecção de TCA. Os narizes eletrônicos consistem em conjuntos de sensores eletroquímicos

de gases associados a sistemas de reconhecimento de padrões responsáveis pelo processamento dos sinais gerados. Devido à sua miniaturização e ao baixo custo, essa metodologia tem despertado interesse para aplicações na indústria vinícola. Contudo, ainda é necessária a implementação de sensores com maior sensibilidade e seletividade para garantir resultados confiáveis (MELÉNDEZ *et al.*, 2020).

3.4 Prevenção

No processo de elaboração do vinho, a contaminação pode ocorrer em diferentes etapas, incluindo o cultivo da uva, situação na qual o material deve ser descartado, a vinificação, o armazenamento ou ainda após o uso de água eletrolisada para operações de lavagem dos instrumentos (GIACOSA *et al.*, 2019).

As principais medidas preventivas incluem a não utilização de sanitizantes à base de cloro, o controle rigoroso da umidade e da temperatura para limitar o desenvolvimento da microrganismos, bem como a verificação da qualidade de todos os materiais e insumos utilizados tanto no processo produtivo quanto na construção e manutenção das instalações. Isso abrange tintas, lubrificantes e materiais de construção, além da restrição ao uso de produtos madeireiros que possam ter sido tratados com triclorofenóis como agentes antifúngicos.

Com o objetivo de assegurar a qualidade e a autenticidade dos vinhos, a OIV publicou, em 2000, o guia “Boas práticas para o transporte em larga escala de vinhos”, adotado por todos os países membros (OIV, 2023). Adicionalmente, a Federação Europeia de Rolhas (CELIÈGE) estabeleceu um Código de Boas Práticas para a Produção de Rolhas, que define os padrões de qualidade a serem seguidos pelas empresas credenciadas no processo de fabricação.

3.5 Remediação

As técnicas de remediação para vinhos contaminados incluem a remoção de haloanisóis por meio da adsorção utilizando diferentes materiais, tais como polietileno de ultra-alto peso molecular, polianilina, peneiras moleculares do tipo zeólita Y e yeast hulls (paredes celulares de leveduras), entre outros. Em geral, esses materiais são adicionados diretamente ao vinho sob agitação e, após um período de contato, removidos por filtração ou decantação (GARDE-CERDÁN, 2008; VALDÉS *et al.*, 2018).

A peneira molecular zeólita Y demonstrou elevada eficiência na remoção seletiva de TCA, promovendo reduções de até 87% em vinhos contaminados. Em 2016, a União Europeia aprovou o uso de filtros contendo esse material para a remoção de cloroanisóis em vinhos (OIV, 2023). O polietileno de ultra-alto peso molecular, na forma granular, também se mostrou eficaz na redução de TCA a níveis abaixo do limiar sensorial. Contudo, a adsorção concomitante de compostos responsáveis pelo aroma e pela cor do vinho resultou em perdas sensoriais, limitando a aplicação desse material (SWAN, 2001).

O uso de yeast hulls para a remoção de odores indesejáveis também apresentou resultados promissores, com redução de até 73% nos níveis de TCA após 48 horas de tratamento com a adição de 400 mg/L. Além disso, a análise sensorial não indicou a presença de aromas ou sabores associados à levedura, o que representa uma vantagem significativa para a aplicação desse material (FERNANDEZ *et al.*, 2007).

4. Conclusão

A presença de halofenóis e haloanisóis, especialmente em vinhos, café e água, tem sido reconhecida como uma das principais causas de desqualificação desses produtos, resultando em expressivas perdas econômicas. Embora entidades internacionais tenham implementado diretrizes e Boas Práticas para a produção de rolhas e vinhos, bem como para o controle da qualidade dos produtos finais, os dados disponíveis para produtos brasileiros permanecem escassos. A ausência de políticas claras para o monitoramento sistemático desses compostos em produtos destinados ao consumo interno evidencia a necessidade urgente de estudos, regulamentações e ações coordenadas, tornando o tema particularmente crítico no contexto nacional.

5 Referências

AMON, J. M.; VANDEPEER, J. M.; SIMPSON, R. F. Compounds responsible for cork taint. **Australian & New Zealand Wine Industry Journal**, v.4, p.62-69, 1989. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2005.tb00290.x>.

ANASTASSIADES, M.; LEHOTAY, S.; STAJNBAHER, D.; SCHENCK, F. J., Fast and easy multi-residue method employing acetonitrile extraction/partitioning and "dispersive solid-phase extraction" for the determination of pesticide residues in produce. **Journal AOAC International**, v.83, p.412-431, 2003. <http://dx.doi.org/10.1093/jaoac/86.2.412>.

BUSER, H. R.; ZANIER, C.; TANNER, H. Identification of 2,4,6-*Trichloroanisole* as a potent compound causing cork taint in wine. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 30, p. 359-362, 1982. <https://doi.org/10.1021/JFO0110A037>.

CALLEJÓN, R. M.; UBEDA, C.; RÍOS-REINA, R.; MORALES, M. L.; TRONCOSO, A. M. Recent developments in the analysis of musty odour compounds in water and wine: A review. **Journal of Chromatography A**, v.1428, p.72-85, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.09.008>.

CARASEK, E.; CUDJOE, E.; PAWLISZYN, J. Fast and sensitive method to determine chloroanisoles in cork using an internally cooled solid-phase microextraction fiber. **Journal of Chromatography A**, v.1138, p.10-17, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.10.092>.

CHATONNET, P.; BONNET, S.; BOUTOU, S.; LABADIE, M. -D. Identification and responsibility of 2,4,6-Tribromoanisole in musty, corked odors in wine. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.52, p.1255-1262, 2004. <https://doi.org/10.1021/jf030632f>.

DE OLIVEIRA, A. R., M.; MAGALHÃES, I. R. DOS S.; DE SANTANA, F. J. M.; BONATO, P. S. Microextração em fase líquida (LPME): fundamentos da técnica e aplicações na análise de fármacos em fluidos biológicos, **Química Nova**, v. 31, p. 637-644, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000300031>.

EKBERG, O. Literature review of fungi in buildings and their ability to methylate chlorophenols into malodorous chloroanisoles. **Journal of Physics Conference Series**, v. 2069, p. 012207, 2021. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2069/1/012207>.

FERNANDEZ, O.; FAUVEAU, C.; PELLERIN, P.; PUECH, C.; VUCHOT, P.; VIDAL, S. Elimination des goûts de bouchon/moisi et de l'OTA à l'aide d'écorces de levures hautement adsorbantes. **Revue Internet de Viticulture et Oenologie**, v.2, p.62-72, 2007.

FONTANA, A. R. Analytical methods for determination of cork-taint compounds in wine. **Trends in Analytical Chemistry**, v.37, p.135-147, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2012.03.012>.

GARDE-CERDAN, T. Molecularly imprinted polymer-assisted simple clean-up of 2,4,6-*Trichloroanisole* and ethylphenols from aged red wines. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.59, p.396-400, 2008. <http://dx.doi.org/10.5344/ajev.2008.59.4.396>.

GIACOSA, S.; GABRIELLI, M.; TORCHIO, F.; SEGADE, S. R.; GROBAS, A. M. M.; AIMONINO, D. R.; GAY, P.; GERBI, V.; MAURY, C.; ROLLE, L. Relationships among electrolyzed water postharvest treatments on winegrapes and chloroanisoles occurrence in wine. **Food Research International**, v.120, p.235-243, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.02.034>.

HJELMELAND, A. K.; COLLINS, T. S.; MILES, J. L.; WYLIE, P. L.; MITCHELL, A. E.; EBELER, S. E. High-throughput, sub ng/L analysis of haloanisoles in wines using HS-SPME with GC triple quadrupole MS. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.63, p.494-499, 2012. <http://dx.doi.org/10.5344/ajev.2012.12043>.

ISO. ISO20752:2014(E): **Determination of releasable 2,4,6 trichloroanisole in wine by cork stoppers**. 2014. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:20752:dis:ed-3:v1:en>.

ITO, R.; KAWAGUCHI, M.; HONDA, H.; KOGANEI, Y.; OKANOUCI, N.; SAKUI, N.; SAITO, K.; NAKAZAWA, H. Hollow-fiber-supported liquid phase microextraction with in situ derivatization and gas chromatography–mass spectrometry for determination of chlorophenols in human urine samples. **Journal of Chromatography B**, v.872, p.63-67, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2008.07.008>.

JEANNOT, M. A.; CANTWELL, F. F. Solvent microextraction into a single drop. **Analytical Chemistry**, v.68, p. 2236-2240, 1996. <https://doi.org/10.1021/ac960042z>.

JELÉN, H. H.; DZIADAS, M.; MAJCHER, M. Different headspace solid phase microextraction-Gas chromatography/mass spectrometry approaches to haloanisoles analysis in wine. **Journal of Chromatography A**, v.1313, p.185-193, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.07.080>.

JOVÉ, P.; PARERAS, A.; DE NADAL, R.; VERDUM, M. Development and optimization of a quantitative analysis of main odorants causing off flavours in cork stoppers using headspace solid-phase microextraction gas chromatography tandem mass spectrometry. **Journal of Mass Spectrometry**, v.56, p.e4728, 2021. <https://doi.org/10.1002/jms.4728>.

JUNG, R.; SCHAEFER, V. **Reducing cork taint in wine**. In: Reynolds AG, editor. Managing Wine Quality. Woodhead Publishing, p. 388-417, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-84569-798-3.50013-9>.

LIZARRAGA, E.; IRIGOYEN, A.; BELSUE, V.; GONZALEZ-PENAS, E. Determination of chloroanisole compounds in red wine by headspace solid-phase microextraction and gas chromatography–mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v.1052, p.145, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.08.046>.

MACKU, C.; GONZALEZ, L.; SCHLEUSSNER, C.; MESQUITA, A. C.; HERWATT, J. W.; KIRCH, L. C.; SCHWARTZ, R. J. Sensory screening for large-format natural corks by “Dry Soak” testing and its correlation to headspace Solid-Phase Microextraction (SPME) Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) releasable *Trichloroanisole* (TCA) analysis. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 57, p. 7962-7968, 2009. <https://doi.org/10.1021/jf901135p>.

MAGGI, L.; ZALACAIN, A.; MAZZOLENI, V.; ALONSO, G. L.; SALINAS, M. R. Comparison of stir bar sorptive extraction and solid-phase microextraction to determine halophenols and haloanisoles by gas chromatography–ion trap tandem mass spectrometry. **Talanta**, v.75, p.753-759, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2007.12.013>.

MÁRQUEZ-SILLERO, I.; AGUILERA-HERRADOR, E.; CÁRDENAS, S.; VALCÁRCEL, M. Determination of 2,4,6-trichloroanisole in water and wine samples by ionic liquid-based single-drop microextraction and ion mobility spectrometry. **Analytica Chimica Acta**, v.702, p.199-204, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.06.046>.

MÁRQUEZ-SILLERO, I.; CÁRDENAS, S.; VALCÁRCEL, M. Direct determination of 2,4,6-trichloroanisole in wines by single-drop ionic liquid microextraction coupled with multicapillary column separation and ion mobility spectrometry detection. **Journal of Chromatography A**, v.1218, p.7574-7580, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.06.032>.

MCKAY, M.; BUICA, A. Factors influencing olfactory perception of selected off-flavour-causing compounds in red wine - A review. **South African Journal of Enology and Viticulture**, v.41, p.56-71, 2020. <http://dx.doi.org/10.21548/41-1-3669>.

MELÉNDEZ, F.; ARROYO, P.; AGUSTÍN, J. L.; FERNÁNDEZ MUÑOZ, J.; CARMONA DEL BARCO, P.; RODRIGUEZ, S.; LOZANO, J. Fast detection of TCA in cork stoppers by means of electronic noses. **Conference: 2020 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)**, p.1-4, 2020. <http://dx.doi.org/10.1109/ISCAS45731.2020.9181289>.

OIV. Resolution OIV-Oeno296/2009, **Method OIV-MA-AS315-16**, 2009. <https://www.oiv.int/public/medias/2544/oiv-ma-as315-16.pdf>

OIV. **State of the world vine and wine sector in 2022**. Disponível em: https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/OIV_State_of_the_world_Vine_and_Wine_sector_in_2022_2.pdf (acessado em 17 de agosto de 2023).

OIV. II.3.2.15 **Use of filter plates containing zeolites Y-Faujasite to adsorb haloanisoles**, 2023. Disponível em: <https://www.oiv.int/standards/international-code-of-oenological-practices/part-ii-oenological-treatments-and-practices/wines/use-of-filter-plates-containing-zeolites-y-faujasite-to-adsorb-haloanisoles> (acessado em 18 de agosto de 2023)

OIV. Part III **Good Practices Guide for Bulk Wine Transportation**, in International Code of Oenological Practices. p. III.1.1-1, 2023. Disponível em: <http://www.oiv.int/public/medias/6558/code-2019-en.pdf> (acessado em 18 de agosto de 2023).

OZHAN, D.; ANLI, R. E.; VURAL, N.; BAYRAM, M. Determination of chloroanisoles and chlorophenols in cork and wine by using HS-SPME and GC-ECD detection, **Journal of the Institute of Brewing**, v.115, p.71-77, 2009. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2009.tb00346.x>.

PIZARRO, C.; PEREZ-DEL-NOTARIO, N.; GONZALEZ-SAIZ, J.M. Optimisation of a headspace solid-phase microextraction with on-fiber derivatisation method for the direct determination of haloanisoles and halophenols in wine. **Journal of Chromatography A**, v.1143, p.26-35, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.01.023>.

RIU, M.; MESTRES, M.; BUSTO, O.; GUASCH, J. Determination of total chloroanisoles in different kinds of cork stoppers. **Analytical Chimica Acta**, v.563, p.310-314, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.aca.2005.10.045>.

ROMANO, A.; NAVARINI, L.; LONZARICH, V.; BOGIALLI, S.; PASTORE, P.; CAPPELLIN, L. *2,4,6-Trichloroanisole* off-flavor screening in green *Coffea arabica* by a novel vocus NO+ CI-MS method: A study on green coffee from different geographical origins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.70, p.11412-11418, 2022. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c03899>.

SIMPSON, R. F.; SEFTON, M. A. Origin and fate of *2,4,6-Trichloroanisole* in cork bark and wine corks. **Australian Journal of Grape and Wine Research**, v.13, p.106-116, 2007. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.2007.tb00241.x>.

SWAN, J. **Process for removing off-flavors and odors from foods and beverages**. US6610342B2, 2001.

TARASOV, A.; CABRAL, M.; LOISEL, C.; LOPES, P.; SCHUESSLER, C.; JUNG, R. State-of-the-art knowledge about 2, 4, 6-*Trichloroanisole* (TCA) and strategies to avoid cork taint in wine. **Grapes and Wine**, v.337, 2022. <https://doi.org/10.5772/intechopen.103709>.

TINDALE, C. R.; WHITFIELD, F. B.; LEVINGSTON, S. D.; LY NGUYEN, T. H. Fungi isolated from packaging materials: their role in the production of 2,4,6-trichloroanisole. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.49, p.437-447, 1989. <https://doi.org/10.1002/JSFA.2740490406>.

VALDÉS, O.; MARICAN, A.; AVILA-SALAS, F.; CASTRO, R.; JOHN, A.; LAURIE, F.; SANTOS, L. Polyaniline based materials as response to eliminate haloanisoles in spirits beverages. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v.57, p.8308-8318, 2018. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.iecr.8b01139>.

VALENTE, A. L. P.; AUGUSTO, F. Microextração por fase sólida, *Química Nova*, v.23, p.523-530, 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422000000400016>.

VESTNER, J.; FRITSCH, S.; RAUHUT, D. Development of a microwave assisted extraction method for the analysis of 2,4,6-trichloroanisole in cork stoppers by SIDA–SBSE–GC–MS. *Analytica Chimica Acta*, v.660, p.76-80, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2009.11.050>.

VLACHOS, P.; KAMPIOTI, A.; KORNAROS, M.; LYBERATOS, G. Matrix effect during the application of a rapid method using HS-SPME followed by GC-ECD for the analysis of 2,4,6-TCA in wine and cork soaks. *Food Chemistry*, v.105, p.681-690, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.056>.

VELOSO, S.; MAGRO, A.; HENRIQUES, J.; BONIFACIO, L.; FERNANDES, J. P.; RAMOS, A. P.; DIOGO, E.; BRAGANÇA, H. Trichoderma atrobrunneum associated with yellow stain defect of cork planks and critical values of TCA for wine cork stoppers industry. *European Journal of Wood and Wood Products*, v.82, p.1009–1019, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00107-024-02070-6>.

WHITFIELD, F. B.; LY NGUYEN, T. H.; LAST, J. H. Effect of relative humidity and chlorophenol content on the fungal conversion of chlorophenols to chloroanisoles in fibreboard cartons containing dried fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.54, p.595-604, 1991. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740540411>.

WHITFIELD, F.B.; LY NGUYEN, T.H. AND TINDALE, C.R. Effect of relative humidity and incubation time on the O-methylation of chlorophenols in fibreboard by Paecilomyces variotii. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.55, p.19-26, 1991. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740550104>.

YU, S.; XIAO, Q.; ZHU, B.; ZHONG, X.; XU, Y.; SU, G.; CHEN, M. Gas chromatography mass spectrometry determination of earthy-musty odorous compounds in waters by two phase hollow-fiber liquid-phase microextraction using polyvinylidene fluoride fibers. **Journal of Chromatography A**, v.1329, p.45-51, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.01.002>.

ZHOU, H; XIE, Y; WU, T; WANG, X; GAO, J; TIAN, B.; HUANG, W.; YOU, Y.; ZHAN, J. Cork taint of wines: the formation, analysis, and control of 2,4,6- *trichloroanisole*. **Food Innovation and Advances**, v.3, p.111 125, 2024. doi: 10.48130/fia-0024-001.

XXXXXXXXXX



Artigo Técnico

A Contribuição da Assistência Técnica na Mitigação de Falhas em Empreendimentos Habitacionais

The Contribution of Technical Assistance to the Mitigation of Defects in Residential Developments

Elvis Correia do Nascimento^{a*},
Cláudio Vicente Mitidieri Filho^{bc}

- ^a Egresso do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia
- ^b Docente do Mestrado Profissional em Habitação: Planejamento e Tecnologia
- ^c Laboratório de Tecnologia e Desempenho de Sistemas Construtivos

Palavras-chave: assistência técnica; manutenção; desempenho; controle da qualidade; vida útil.

Keywords: technical assistance; maintenance; inspection and project handover; service life.

* e-mail: elvis.nascimento@ensino.ipt.br

Resumo

Após a conclusão das obras das edificações e a entrega das unidades habitacionais, inicia-se a fase de uso, operação e manutenção, na qual os sistemas construtivos são submetidos às condições reais de utilização, permitindo observar o desempenho e a durabilidade ao longo da vida útil. Com base na experiência profissional dos autores, em pesquisas com empresas de construção civil e em visitas a canteiros de obras, verifica-se elevado volume de solicitações de assistência técnica no período pós-entrega, associado a falhas de projeto, deficiências de execução, lacunas no controle da qualidade, insuficiência de orientação aos usuários, uso inadequado e ausência de manutenção preventiva. A empresa incorporadora ou construtora deve prestar assistência técnica por um período de cinco anos, após conclusão das obras e concessão de habite-se para as edificações. Ressalta-se que a abordagem neste artigo está voltada para empreendimentos de Habitação de Interesse Social (HIS), embora conceitualmente a abordagem pode ser aplicada em edificações com outros padrões. Mesmo em empreendimentos construídos por empresas construtoras certificadas no âmbito do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), podem persistir falhas ou não conformidades relevantes, que podem afetar o desempenho da edificação. Nesse contexto, as equipes da empresa voltadas à assistência técnica e à gestão da qualidade assumem papel estratégico, consolidando os registros das ocorrências e das soluções práticas de forma a promover a retroalimentação contínua das fases de projeto, execução e uso, além de contribuir para a inspeção do empreendimento ao longo de sua produção. Este artigo apresenta propostas técnicas que viabilizam a implantação da “Jornada da Assistência Técnica ao Cliente”, como instrumento de integração das diversas fases de produção das edificações, com diretrizes voltadas à prevenção de falhas, qualificação das equipes e aprimoramento do controle ou da gestão da qualidade. O resultado prático é a redução da incidência de falhas ou não conformidades, redução de custos e demandas judiciais, preservação da imagem da empresa, e manutenção do desempenho e da vida útil das edificações.

Abstract

Following the completion of building construction and the handover of residential units, the use, operation, and maintenance phase begins, during which building systems are subjected to actual service conditions, allowing the assessment of performance and durability throughout their service life. Based on the authors' professional experience, surveys conducted with construction companies, and

visits to construction sites, a high volume of technical assistance requests has been identified during the post-handover period, associated with design deficiencies, execution failures, gaps in quality control, insufficient user guidance, improper use, and the absence of preventive maintenance. The developer or construction company is required to provide technical assistance for a period of five years following completion of the works and issuance of the occupancy permit for the buildings. It should be noted that the approach presented in this article is focused on Social Housing Developments (HIS – Habitação de Interesse Social), although the concepts discussed may also be applied to buildings of other standards. Even in projects executed by construction companies certified under the Brazilian Program for Quality and Productivity in Habitat (PBQP-H), significant defects or nonconformities may still persist and adversely affect building performance. In this context, the company's technical assistance and quality management teams play a strategic role by consolidating records of occurrences and practical solutions in order to promote continuous feedback among the design, construction, and occupancy phases, while also contributing to inspections throughout the production process. This article presents technical proposals aimed at enabling the implementation of the "Technical Assistance Customer Journey" as an instrument for integrating the various stages of building production, with guidelines focused on defect prevention, workforce qualification, and the enhancement of quality control and quality management practices. The practical outcomes include the reduction of defects and nonconformities, lower costs and legal claims, preservation of the company's reputation, and the maintenance of building performance and service life.

1 Introdução

Segundo a PNAD Contínua 2022, o Brasil possui mais de 11 milhões de apartamentos, correspondendo a 14,9% dos domicílios, evidenciando a consolidação da moradia coletiva como uma das principais formas de ocupação urbana (IBGE, 2022). Dentro desse contexto, destacam-se os empreendimentos de Habitação de Interesse Social - HIS, que, além de representarem parcela significativa da produção habitacional nacional, concentram um público com maior vulnerabilidade socioeconômica, o que impacta diretamente a forma de uso, conservação e manutenção das edificações (CBIC, 2016; DEL MAR 2023). Nesses empreendimentos, a gestão condominial e a manutenção coletiva tornam-se ainda mais desafiadoras, em razão de limitações financeiras, menor acesso à informação técnica e ausência de cultura consolidada de manutenção preventiva, fatores que

contribuem para o uso inadequado das unidades e das áreas comuns (BAYERLING, 2014). Nesse cenário, incorporadoras e construtoras assumem papel fundamental não apenas na entrega de empreendimentos com desempenho técnico adequado e durabilidade compatível com as exigências de normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 16636-2; ABNT, NBR 17170), mas também na orientação dos usuários quanto ao uso, operação e manutenção das edificações ao longo de sua vida útil (CBIC, 2016). Entretanto, observa-se fragilidade nos processos de entrega e assistência técnica, especialmente em empreendimentos de HIS, decorrente da falta de integração entre as etapas de projeto, execução e operação das edificações, além de limitações na qualificação da mão de obra, falhas de comunicação e fiscalização insuficiente (CBIC, 2016). Verifica-se que a ocupação das unidades, quando realizada sem orientação adequada aos usuários no momento da entrega, contribui para o agravamento de manifestações patológicas, o aumento dos custos de manutenção e a intensificação de conflitos no ambiente condominial (CARLOS PINTO DEL MAR, 2023). Diante desse cenário, este artigo propõe uma “Jornada de Assistência Técnica” como uma abordagem integrada entre as fases de projeto, construção e operação, com foco na prevenção de falhas, melhoria do desempenho das edificações e aumento da vida útil dos sistemas, especialmente em empreendimentos de HIS, cujas particularidades exigem soluções mais estruturadas e acessíveis, embora as diretrizes propostas possam ser adaptadas e aplicadas a outros tipos de empreendimentos habitacionais.

2 Referencial Teórico e Metodologia

Do ponto de vista metodológico, o presente estudo apoia-se na integração entre pesquisa bibliográfica, pesquisa de campo e análises considerando a vivência profissional dos autores. A pesquisa de campo realizada contemplou incorporadoras e construtoras atuantes no segmento de “mercado popular”, com o objetivo de mapear, analisar e comparar os processos de planejamento, execução, entrega, assistência técnica e comunicação com os usuários. Os resultados obtidos indicam elevada similaridade entre os processos analisados, com baixa variabilidade entre as empresas avaliadas.

A pesquisa bibliográfica forneceu a base para compreensão dos aspectos de desempenho, qualidade e manutenção das edificações. A consideração das diferentes fontes de informação permitiu a análise crítica do ciclo de vida dos empreendimentos, subsidiando a proposição da “Jornada da Assistência Técnica” como instrumento de sistematização de ações preventivas, redução de não conformidades e melhoria da experiência dos usuários.

A ABNT NBR 17170:2022 – “Edificações - Garantias - Prazos recomendados e diretrizes” representa um avanço ao estabelecer diretrizes mais claras quanto aos prazos de garantia, cuja efetividade depende do uso, da operação e da manutenção praticados de forma adequada. Complementarmente, a Lei dos Cinco de Sitter (1984) demonstra que intervenções tardias implicam aumento exponencial dos custos, reforçando a importância de estratégias preventivas desde a fase de projeto, particularmente para as estruturas. Estudos indicam que falhas de projeto podem representar cerca de 40% das manifestações patológicas nas edificações, evidenciando a necessidade de maior integração entre projetistas, construtores e equipes de assistência técnica (DEL MAR, 2015).

Entre os principais desafios apontados para edificações da natureza abordada neste artigo, destacam-se a ausência de cultura de manutenção, particularmente preventiva, as limitações financeiras dos usuários e as lacunas na definição de responsabilidades ao longo do ciclo de vida das edificações (CBIC, 2016).

3 Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social - HIS

O presente artigo e as diversas análises e proposições voltam-se para empreendimentos de HIS, em razão da grande representatividade desse segmento na produção habitacional brasileira e das particularidades da interação dos usuários com a edificação. Também há particularidades voltadas ao financiamento habitacional, fundamentalmente com emprego de recursos públicos, e aos valores destinados ao projeto e construção das unidades habitacionais e às obras de infraestrutura. A atuação da assistência técnica nas diversas etapas do empreendimento pode reduzir os custos de produção e manutenção, trazendo benefícios para o fornecedor, ou seja, para a incorporadora e construtora, e para o consumidor, entendido como o usuário da edificação.

A redução dos custos, após entrega das unidades habitacionais, também pode ser verificada na redução das demandas judiciais, demandas essas de monta significativa, conforme apontado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção.

Os empreendimentos de HIS desempenham papel relevante na política habitacional brasileira, sendo destinados a famílias de baixa renda e, em grande parte, viabilizados por meio de subsídios públicos. Apesar de sua contribuição para a redução do déficit habitacional, tais empreendimentos podem apresentar limitações quanto à durabilidade, ao desempenho técnico e à conservação, frequentemente associadas a falhas nos processos construtivos e à ausência de manutenção preventiva. O desempenho da edificação,

pós entrega do empreendimento, pode ser impactado durante o período de vida útil da edificação, especialmente quando consideradas as particularidades do comportamento dos usuários, em geral, sem conhecimento para a adequada gestão dos sistemas construtivos e da infraestrutura condominial. De qualquer forma, os usuários precisam ter as informações precisas e em linguagem adequada, para que possam realizar uma adequada operação e manutenção, mesmo porque a manutenção é de sua responsabilidade, conforme previsto na ABNT NBR 15.575.

Os condomínios de HIS operam, em sua maioria, com orçamentos restritos, o que limita a realização de manutenções periódicas e investimentos em infraestrutura. Adicionalmente, normas técnicas como a ABNT NBR 5674:2024 - Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção não trazem detalhes a respeito da manutenção dos diversos sistemas das edificações. Observa-se, ainda, a ausência de um processo estruturado de preparação dos síndicos e de suas equipes no momento da entrega, uma vez que a assembleia geral de instalação (AGI) é, frequentemente, seguida da imediata implantação do condomínio. Essa dinâmica reduz o tempo disponível para a compreensão das características técnicas e operacionais do empreendimento, comprometendo a gestão inicial e contribuindo para falhas operacionais, negligência involuntária e degradação precoce.

A durabilidade das edificações está diretamente relacionada ao cumprimento dos manuais de uso, operação e manutenção. No entanto, fatores como gestão condominial ineficiente, alta rotatividade de síndicos e ausência de registros sistematizados comprometem a conservação dos sistemas. A abordagem por desempenho, conforme preconizada pela ABNT NBR 15575 - Edificações habitacionais - Desempenho, reforça a necessidade de adoção de sistemas duráveis e de estratégias de manutenção desde a fase de projeto. Nesse contexto, cabe às construtoras orientar adequadamente gestores e usuários desde a entrega do empreendimento.

A falta de clareza ou as falhas de entendimento das responsabilidades estabelecidas nos manuais de uso e manutenção, aliada à ausência de uma cultura preventiva, contribui para o aumento de conflitos e litígios, especialmente antes do término dos prazos de garantia. Soma-se a esse cenário a escassez de mão de obra qualificada, que impacta diretamente a qualidade da execução e eleva os custos de produção e assistência técnica.

A gestão condominial, centralizada na figura do síndico, depende diretamente da qualidade e aplicabilidade dos manuais de uso, operação e manutenção, conforme estabelecido pela ABNT NBR 14037:2024, de responsabilidade da construtora, que devem fornecer as orientações necessárias, especificações dos principais produtos

e procedimentos para que a manutenção e as intervenções dos usuários possam ser feitas de forma adequada. A **FIGURA 1** apresenta os principais intervenientes envolvidos nas atividades de manutenção condominial.

Figura 1: Intervenientes envolvidos na manutenção de condomínios.



Fonte: CBIC (2016, adaptado pelos autores).

A garantia técnica do imóvel deve ser compreendida por todos os agentes envolvidos: condôminos, síndicos, incorporadores e construtores, de modo a assegurar a correta interpretação dos dispositivos legais e normativos e o adequado exercício de seus direitos e deveres na identificação e tratativa de falhas. A garantia legal, prevista no Código Civil e no Código de Defesa do Consumidor, assegura a reparação de vícios construtivos, com destaque para o prazo de até cinco anos para problemas estruturais, além de prazos inferiores para defeitos aparentes. A garantia contratual pode ampliar esses direitos, conforme pactuado entre as partes.

Nesse contexto, a ABNT NBR 17170:2022 - Edificações - Garantias - Prazos recomendados e diretrizes, representa um avanço ao estabelecer prazos mínimos de garantia para sistemas construtivos, promovendo maior segurança jurídica. No entanto, sua efetividade está condicionada ao uso adequado da edificação e à realização de manutenções periódicas, não abrangendo falhas decorrentes de uso inadequado ou negligência.

Diante desse cenário, torna-se fundamental a incorporação de diretrizes de manutenibilidade ainda na fase de projeto, contemplando a especificação adequada de materiais, a facilidade de acesso aos sistemas e a disponibilização de documentação técnica clara e acessível. A ausência desses cuidados compromete o desempenho ao longo da vida útil, eleva a incidência de falhas e aumenta os custos com intervenções corretivas.

4 Desafios da Assistência Técnica em Condomínios: Evidências da Prática

Os dados que fundamentam esta seção foram estruturados a partir de um banco de informações com mais de 20 empreendimentos habitacionais, acompanhados desde 2013. Esse acompanhamento abrangeu diferentes fases do ciclo do empreendimento, incluindo a execução por construtoras terceirizadas, a entrega das unidades aos clientes e o período pós-ocupação.

A amostra apresenta predominância de empreendimentos de HIS, seguidos por Habitação de Mercado Popular (HMP) e, em menor escala, empreendimentos classificados como R2V, conforme critérios de padrão construtivo e enquadramento mercadológico adotados pelas incorporadoras.

A coleta de dados baseou-se na análise de registros de assistência técnica, relatórios de não conformidades, observações em campo e interação com equipes de obra e pós-obra, possibilitando a identificação das principais falhas recorrentes, suas causas e impactos no desempenho das edificações.

A sistematização dessas informações permitiu sua organização em categorias técnicas, originando os itens 4.1 a 4.4, estruturados a partir dos principais grupos de falhas identificados, viabilizando a análise comparativa e a priorização das ocorrências mais relevantes ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos.

As fotografias apresentadas constituem registros próprios dos autores, obtidos no contexto de sua atuação no setor de incorporação imobiliária, e documentam evidências reais das falhas observadas nas etapas de execução, entrega e uso. Esses registros complementam a análise qualitativa, auxiliando na identificação dos padrões recorrentes e na compreensão das ocorrências de maior impacto no desempenho das edificações.

4.1 Deficiências de projeto e seus impactos na assistência técnica

Embora os departamentos de projetos possuam capacitação técnica para o desenvolvimento das soluções projetuais e sua adequada especificação executiva, verifica-se que nem sempre essas soluções são plenamente compatibilizadas com as condições reais de obra e de uso, o que pode resultar em manifestações patológicas e demandas recorrentes na assistência técnica.

Destaca-se a ausência de retroalimentação sistematizada das etapas de execução, uso e operação das edificações para o processo de projeto. Essa desconexão entre a concepção, a realidade do canteiro de obras e a fase de utilização compromete o desempenho da edificação, reduz a eficiência do processo construtivo e limita a incorporação de melhorias contínuas.

Como consequência, observam-se falhas construtivas, retrabalhos, aumento de custos e redução da durabilidade dos sistemas prediais, impactando diretamente o volume e a recorrência das solicitações de assistência técnica no período pós-entrega. Esse cenário é agravado por estruturas organizacionais segmentadas, nas quais as áreas atuam de forma pouco integrada, com informações frequentemente restritas a ambientes digitais e dissociadas da realidade operacional e das demandas dos usuários.

Essa limitação reduz o potencial de atuação preventiva e o aproveitamento dos aprendizados ao longo do ciclo de vida do empreendimento, favorecendo a reincidência de não conformidades, conforme evidenciado nas **Fotografias 1 e 2**.

Diante desse contexto, torna-se fundamental promover maior integração entre as etapas de concepção, produção e uso, consolidando uma abordagem sistêmica orientada à melhoria contínua, ao aumento do desempenho das edificações e à redução das demandas de assistência técnica. A literatura corrobora essa análise: de acordo com Flores-Colem (2022), aproximadamente 40% dos defeitos em empreendimentos estão associados a falhas na fase de concepção, evidenciando a importância do alinhamento entre projeto, execução e uso.

Fotografia 1: Falha de projeto evidenciada pela repetição de trincas nos terraços da fachada



Fonte: autores

Fotografia 2: Deterioração precoce do piso de proteção da impermeabilização do estacionamento em decorrência da ausência de projeto específico para sua execução.



Fonte: autores

4.2 Consequência das falhas no processo construtivo para a Assistência Técnica

A ocorrência de falhas na etapa de execução, quando não tratadas de forma adequada, são transferidas para a fase de uso e operação do empreendimento. Observa-se, no cotidiano do canteiro, que a pressão por cumprimento de prazos, medições e metas de produção conduz as equipes a priorizarem o avanço físico da obra, resultando às vezes no comprometimento da qualidade dos serviços executados, em razão da incorreta ou parcial aplicação dos procedimentos técnicos e, igualmente, da falta de capacitação técnica dos executores e dos responsáveis pela inspeção.

As principais causas das não conformidades estão associadas à baixa aderência às práticas de execução orientadas à qualidade, à fragilidade da fiscalização técnica e à insuficiente qualificação das equipes, cenário frequentemente agravado pela escassez de mão de obra especializada. Tais fatores comprometem a correta interpretação dos projetos, o atendimento aos critérios técnicos estabelecidos e a adequada responsabilização pela qualidade da execução.

Como consequência, observa-se a redução do desempenho, da funcionalidade e da durabilidade dos sistemas construtivos, com o surgimento precoce de manifestações patológicas. Essas falhas, que podem variar desde problemas de acabamento até comprometimentos mais significativos, muitas vezes tornam-se evidentes apenas durante a fase de uso. Quando reportadas, são não raramente atribuídas de forma indevida ao mau uso ou à ausência de manutenção por parte dos usuários, transferindo custos aos moradores e gerando conflitos.

Diante desse cenário, sob a ótica dos autores, torna-se imprescindível promover uma análise crítica dos processos de execução e finalização da obra, com foco na identificação das causas das falhas e na implementação de medidas preventivas ainda na fase construtiva. Tal abordagem contribui para a redução de não conformidades, a mitigação de litígios e a elevação do nível de satisfação dos usuários, conforme ilustrado nas **Fotografias 3 e 4**.

Fotografia 3: Ocorrência de destacamento prematuro do revestimento cerâmico em unidade recém-entregue



Fonte: autores

Fotografia 4: Patologia estrutural associada ao desaprumo do elemento em razão de inadequação na locação da estaca.



Fonte: autores

4.3 Impacto na assistência técnica em decorrência da fase de ocupação, reformas e alterações das unidades

Concluídas as fases de projeto e execução, inicia-se a etapa de entrega e ocupação, que marca o começo do uso efetivo do empreendimento. Nesse momento, com base na experiência prática dos autores, observa-se a recorrente realização de reformas nas unidades por parte dos proprietários, muitas vezes promovendo a descaracterização dos ambientes originalmente entregues.

Verifica-se que grande parte dessas intervenções ocorre sem o devido acompanhamento técnico. Mesmo quando há a participação formal de profissionais habilitados, o que não é uma situação frequente, sobretudo em empreendimentos de Habitação de Interesse Social (HIS), os autores identificam que, em diversos casos, a atuação limita-se à emissão de ART para atendimento a exigências do síndico, sem o efetivo acompanhamento da execução das reformas. Essa prática contribui para a ocorrência de danos prematuros tanto nas áreas privativas quanto nas áreas comuns, comprometendo o desempenho e a durabilidade da edificação.

Adicionalmente, a inexperiência do síndico no contexto de um condomínio recém-entregue — especialmente em empreendimentos voltados ao mercado popular, caracterizados por elevado número de unidades e pela heterogeneidade sociocultural dos moradores — agrava esse cenário, uma vez que, em geral, não há estrutura técnica, administrativa ou operacional suficiente para fiscalizar adequadamente as intervenções nas unidades e disciplinar o uso das áreas comuns.

A ausência de uma gestão preventiva e orientativa favorece a ocorrência de falhas que, frequentemente, são direcionadas à assistência técnica como se fossem de origem construtiva, gerando conflitos entre condôminos, construtora e incorporadora, conforme ilustrado nas **Fotografias 5 e 6**.

Diante desse contexto, sob a ótica dos autores, evidencia-se a necessidade de implementação de medidas preventivas e educativas desde a entrega do empreendimento, incluindo a adoção de protocolos claros de orientação aos moradores, a estruturação da gestão condominial e a exigência de acompanhamento técnico efetivo nas intervenções realizadas nas unidades. Tais ações são fundamentais para preservar o desempenho dos sistemas construtivos, prolongar a vida útil da edificação e reduzir a incidência de litígios na fase de pós-ocupação.

Fotografia 5: Ocorrência de uso indevido das áreas comuns por prestadores de serviços contratados pelos moradores no período pós-entrega.



Fonte: autores

Fotografia 6: Vazamento na fachada decorrente de intervenção realizada pelo proprietário na tubulação do medidor de água durante reforma da unidade.



Fonte: autores

Ainda cabe destacar que as reformas realizadas sem respaldo técnico representam outro risco significativo. A ABNT NBR 16.280:2024 Reforma em edificações - Sistema de gestão de reformas – Requisitos, estabelece diretrizes para gestão de reformas, visando preservar a segurança e o desempenho das edificações. Contudo, pesquisas revelam que a maioria das intervenções ocorre sem acompanhamento profissional, aumentando riscos de danos estruturais, sobrecargas e infiltrações, além de gerar disputas judiciais.

Uma pesquisa realizada pelo Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Espírito Santo (CAU-ES) em 2015, ano da versão anterior da norma, revelou que 85,4% das reformas foram realizadas sem acompanhamento profissional, sendo executadas por pedreiros, mestres de obras, parentes ou amigos. Apenas 14,6% contaram com o envolvimento de arquitetos ou engenheiros.

Segundo o mesmo levantamento, a contratação de profissionais está diretamente associada à escolaridade e à renda dos usuários. Entre os que possuem ensino superior, 26,2% realizaram reformas com suporte técnico, enquanto, entre os com ensino fundamental, esse índice cai para 9,5%. Nas classes A e B, 25,8% buscaram apoio profissional, número que sobe para 55,3% na classe A.

Nos empreendimentos de uso misto, a complexidade é ainda maior. A convivência entre unidades residenciais, comerciais e fachadas ativas exige regras claras, coordenação integrada e capacitação específica dos gestores. Sem manuais técnicos adequados e comunicação efetiva, surgem conflitos entre diferentes usuários e riscos ao desempenho global do edifício.

4.4 O Condomínio diante da realização das manutenções

Na fase de uso e operação, a manutenção preventiva é fator determinante para o adequado desempenho e para a vida útil dos sistemas construtivos aplicados no empreendimento. Nesse contexto, cabe à incorporadora e à construtora fornecer informações técnicas claras e acessíveis aos usuários e aos gestores condominiais, viabilizando a elaboração e a implementação de planos de manutenção em conformidade com as normas vigentes, de modo a evitar a perda de garantias e a ocorrência de manifestações patológicas precoces.

Com base na experiência dos autores em mais de vinte empreendimentos entregues, predominantemente de Habitação de Interesse Social (HIS), observa-se que a maioria dos síndicos não implementa de forma efetiva o Programa de Manutenção Predial conforme

preconizado pela ABNT NBR 5674:2024 Manutenção de edificações - Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Como consequência, prevalece um modelo de manutenção reativa, caracterizado por intervenções corretivas tardias, maior desgaste dos sistemas e elevação dos custos ao longo do ciclo de vida da edificação.

Outro quesito que compromete a fase do pós-obras é a alta rotatividade de síndicos, a qual compromete a continuidade administrativa, registros de intervenções e efetividade das ações preventivas. Insuficiência de recursos e dificuldades de liderança frente à diversidade sociocultural agravam a situação, provocando frustração e renovação prematura da gestão. A fragilidade na articulação entre síndico, administradora e construtora, somada à ausência de responsabilidades claras, favorece renúncias antecipadas. A falta de registros sistematizados prejudica transparência e acompanhamento técnico, enquanto áreas comuns frequentemente não recebem manutenção preventiva adequada, acelerando degradação e reduzindo vida útil dos componentes. Conseqüentemente, condôminos tendem a interpretar falhas como vícios construtivos, mesmo após anos da entrega, ignorando a correta aplicação das normas e prazos de garantia, conforme representam as **Fotografias 7 e 8**.

Fotografia 6: Vazamento na fachada decorrente de intervenção realizada pelo proprietário na tubulação do medidor de água durante reforma da unidade.



Fonte: autores

Fotografia 8 : Evidência deterioração dos elementos da portaria condominial, associada à ausência ou insuficiência de manutenção preventiva ao longo do período de uso da edificação.



Fonte: autores

5 Propostas para Mitigação de Falhas em Empreendimentos Habitacionais a partir da Assistência Técnica

A análise dos desafios apresentados na Seção 4 evidencia que as falhas recorrentes na assistência técnica não são pontuais, mas sim sistêmicas, distribuídas ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento. Nesse sentido, as propostas apresentadas nesta seção foram estruturadas de forma a atuar diretamente sobre as causas identificadas, promovendo uma abordagem integrada, preventiva e orientada ao desempenho.

Inicialmente, as deficiências de projeto caracterizadas pela ausência de retroalimentação entre as fases de concepção, execução e uso resultam em soluções pouco aderentes à realidade de campo, com impacto direto na durabilidade e na manutenibilidade dos sistemas. Para mitigar esse problema, são apresentadas quatro propostas complementares e interdependentes:

5.1 Proposta 1 – A Manutenção na Habitação de Interesse Social

5.1.1 Inclusão da manutenibilidade nos projetos de HIS

Atua diretamente na origem dessas falhas, ao estabelecer a necessidade de integração multidisciplinar por meio de comitês técnicos e checklists estruturados. Essa abordagem permite incorporar lições aprendidas da assistência técnica e da execução ainda na fase de projeto, reduzindo retrabalhos, melhorando a qualidade das soluções e prevenindo a reincidência de patologias.

Adicionalmente, a mesma proposta também responde à falta de consideração da vida útil e da manutenção ainda na concepção, ao introduzir critérios claros de acessibilidade, durabilidade e facilidade de intervenção, especialmente relevantes em empreendimentos de interesse social, onde há limitações financeiras para manutenção corretiva.

✓ **Modelo de Checklist de Conformidade de Projetos e Desempenho Pós-Obra – Resumo Técnico**

I. Identificação dos Participantes:

Registrar todos os profissionais envolvidos na avaliação, como: Arquitetura, Engenharia, Orçamentista, Equipe de Obra, Gestores de Produto e Engenharia, Pós-Obra/Manutenção, Projetistas, Consultorias e Investidores. Garantir clareza sobre responsabilidades de cada área.

II. Registro de Processos Críticos:

Listar pontos críticos de cada área, incluindo seleção de materiais, métodos construtivos, soluções sustentáveis e orientações para uso e manutenção. Exemplos de processos a considerar: proteção contra umidade e mofo; impermeabilização de áreas molhadas; prevenção de fissuras e vedações em portas/janelas; manutenibilidade e durabilidade; qualidade em instalações hidráulicas e elétricas; ventilação adequada; comunicação clara entre projeto e execução; consideração das condições climáticas locais; estratégias para reduzir falhas pós-obra.

III. Avaliação de Riscos:

Para cada processo:

- Descrever riscos e medidas preventivas;
- Classificar a probabilidade: Pouco Possível (-P), Possível (P), Muito Possível (+P);
- Subsidiar ajustes no projeto, treinamentos de execução e orientações aos usuários.

IV. Tratamento de Riscos:

Registrar impactos potenciais na coluna “Consequências no Processo” e definir estratégia de tratamento:

EV – Evitar; E – Eliminar; M – Mitigar; T – Transferir; R – Reter; A – Assumir como oportunidade.

V. Plano de Ação e Retroalimentação:

Especificar ações para tratar cada risco e registrar:

- Resultado da ação; Observações relevantes; Justificativa.
- Esses registros fortalecem a melhoria contínua, reduzem falhas recorrentes e promovem desempenho superior do empreendimento.

5.1.2 Fatores determinantes para o alcance da vida útil de projeto (VUP)

Planejar a manutenção desde o projeto é essencial para que os prédios, principalmente os de Habitação Popular, durem mais e funcionem melhor, além de reduzir custos e evitar problemas precoces. A vida útil de um edifício depende de soluções adequadas ao uso, exposição e manutenção, e normalmente, em projetos populares, adota-se o período mínimo previsto pelas normas. Criar comitês técnicos ajuda a integrar projetistas, construtores e incorporadores, garantindo escolha correta de materiais, execução de qualidade e planejamento de manutenção, que serve de base para manuais de uso e operação. Após a entrega, a incorporadora ou construtora deve acompanhar o condomínio, realizando inspeções, treinamentos e usando ferramentas digitais para manter a manutenção pre-

ventiva e prolongar a durabilidade. Assim, alcançar a vida útil não é só cumprir normas, mas um processo que envolve planejamento, execução cuidadosa e acompanhamento, beneficiando todos e garantindo o bom desempenho e a sustentabilidade do prédio.

5.2 Proposta 2 – Terminalidade da obra sob a perspectiva da qualidade

Reforça a necessidade de um Sistema de Gestão da Qualidade efetivo, com inspeções rigorosas. Integração com a assistência técnica e inspeções com empresas especializadas em engenharia diagnóstica podem contribuir para reduzir a ocorrência de falhas ocultas e melhorar a confiabilidade da entrega. A integração entre assistência técnica e gestão da qualidade permite identificar problemas ainda na execução e atuar preventivamente.

Acompanhamento pós-entrega de, no mínimo, cinco anos, conforme garantias contratuais, fortalece a manutenção preventiva e reduz custos futuros. Capacitação contínua, inspeções qualificadas e atuação integrada são essenciais para conformidade normativa e desempenho superior. Essas práticas aumentam a confiabilidade do empreendimento, evitam disputas judiciais e reforçam a reputação e valor da construtora.

5.3 Proposta 3 – Uso da Realidade Aumentada e tecnologias digitais

Surge como ferramenta estratégica para mitigar essas falhas, ao facilitar o acesso às informações técnicas, promover a compreensão dos sistemas construtivos e apoiar tanto os usuários quanto os gestores condominiais na tomada de decisão. A Realidade Aumentada (RA) e outras tecnologias digitais, como *Building Information Modelling* (BIM) e Internet das Coisas (IoT), promovem planejamento integrado, monitoramento de sistemas prediais e capacitação de usuários.

Em empreendimentos de Habitação de Interesse Social (HIS), a realidade aumentada (RA) pode facilitar a manutenção preventiva, permitindo visualizar tubulações, equipamentos e informações do manual do proprietário de forma interativa. Sua eficácia depende da precisão do as-built, da execução rigorosa da obra e da consideração de perfis diversos de usuários. Quando aplicada estrategicamente, a RA otimiza a gestão, reduz falhas, melhora a experiência dos moradores e contribui para a sustentabilidade

e longevidade das edificações. É importante que o uso de tecnologias seja avaliado já no momento da aquisição do imóvel, garantindo que pessoas com dificuldades de acesso a recursos digitais também recebam informações claras, objetivas e disponibilizadas por outros meios adequados às suas necessidades.

5.4 Proposta 4 – Otimização do Programa de Manutenção

Atua de forma direta, ao estruturar um modelo de acompanhamento contínuo, com suporte técnico da incorporadora/construtora, uso de ferramentas digitais, capacitação dos gestores e monitoramento sistemático das ações de manutenção.

Essa proposta também responde à fragilidade na comunicação e na orientação aos usuários, identificada ao longo da Seção 4, ao prever manuais mais didáticos, interativos e acessíveis, além de treinamentos e acompanhamento periódico, promovendo a consolidação de uma cultura preventiva. Falhas simples podem ser evitadas com clareza sobre responsabilidades, operação e plano de manutenção sistematizado. A entrega de manuais técnicos, conforme ABNT NBR 14.037:2024 Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações - Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos e em conformidade com a ABNT NBR 16636, que prevê o fornecimento, pelos projetistas, das informações técnicas necessárias à elaboração dos Manuais do Proprietário e do Síndico, garantindo uma documentação específica ao empreendimento.

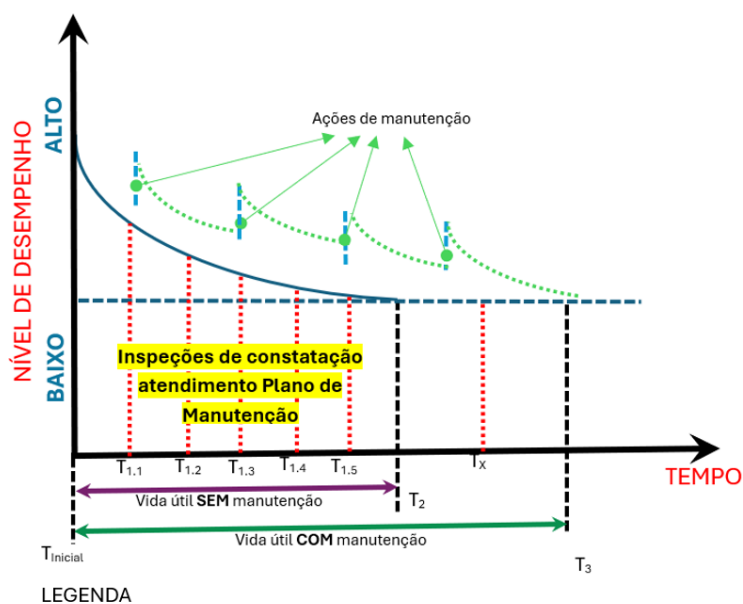
Soluções digitais, como manuais interativos via QR Code, vídeos explicativos e checklists automatizados, ampliam o acesso à informação e profissionalizam a gestão condominial. Em estudo realizado pelos autores em um condomínio denominado “Alfa”, verificou-se que, antes da implantação do monitoramento digital e do suporte técnico contínuo, os índices de conformidade eram praticamente inexistentes, apresentando resultados próximos de zero. Após doze meses de acompanhamento sistemático, o indicador alcançou 67%, evidenciando a efetividade do monitoramento na indução das práticas de manutenção e na melhoria da gestão condominial. A metodologia recomendada inclui programa de manutenção baseada no projeto, capacitação da equipe, acompanhamento periódico da incorporadora e construtora por meio de relatórios mensais, reuniões semestrais e vistorias anuais com engenheiro independente.

Os autores analisaram onze condomínios, verificando que a ausência de acompanhamento contínuo pós-entrega gerou demandas judiciais, com custos superiores a 1% do orçamento original. Em contrapartida, a implantação de monitoramento e orientação preventiva reduziria o investimento necessário para 0,2%, demonstrando eficiência.

Atualmente, não há legislação obrigando incorporadoras e construtoras a supervisionarem a manutenção durante a garantia ou vida útil. Propõe-se, portanto, acompanhamento contínuo desde a concepção até as fases de uso, operação e manutenção. A **FIGURA 2** apresenta uma adaptação da ABNT NBR 15.575, recomendando inspeções periódicas e registro documental entre síndicos e usuários, promovendo preservação do desempenho dos sistemas e consolidação da cultura preventiva.

Durante essas inspeções, previamente agendadas com o síndico, caberá à Incorporadora e à Construtora, por meio da equipe de Assistência Técnica, verificar a execução das ações conforme as diretrizes do Programa de Manutenção. As orientações mensais, emitidas pelo sistema de monitoramento, serão confrontadas com a documentação conforme o fluxo apresentado por meio da **FIGURA 3**, adaptada da ABNT NBR 5674:2024.

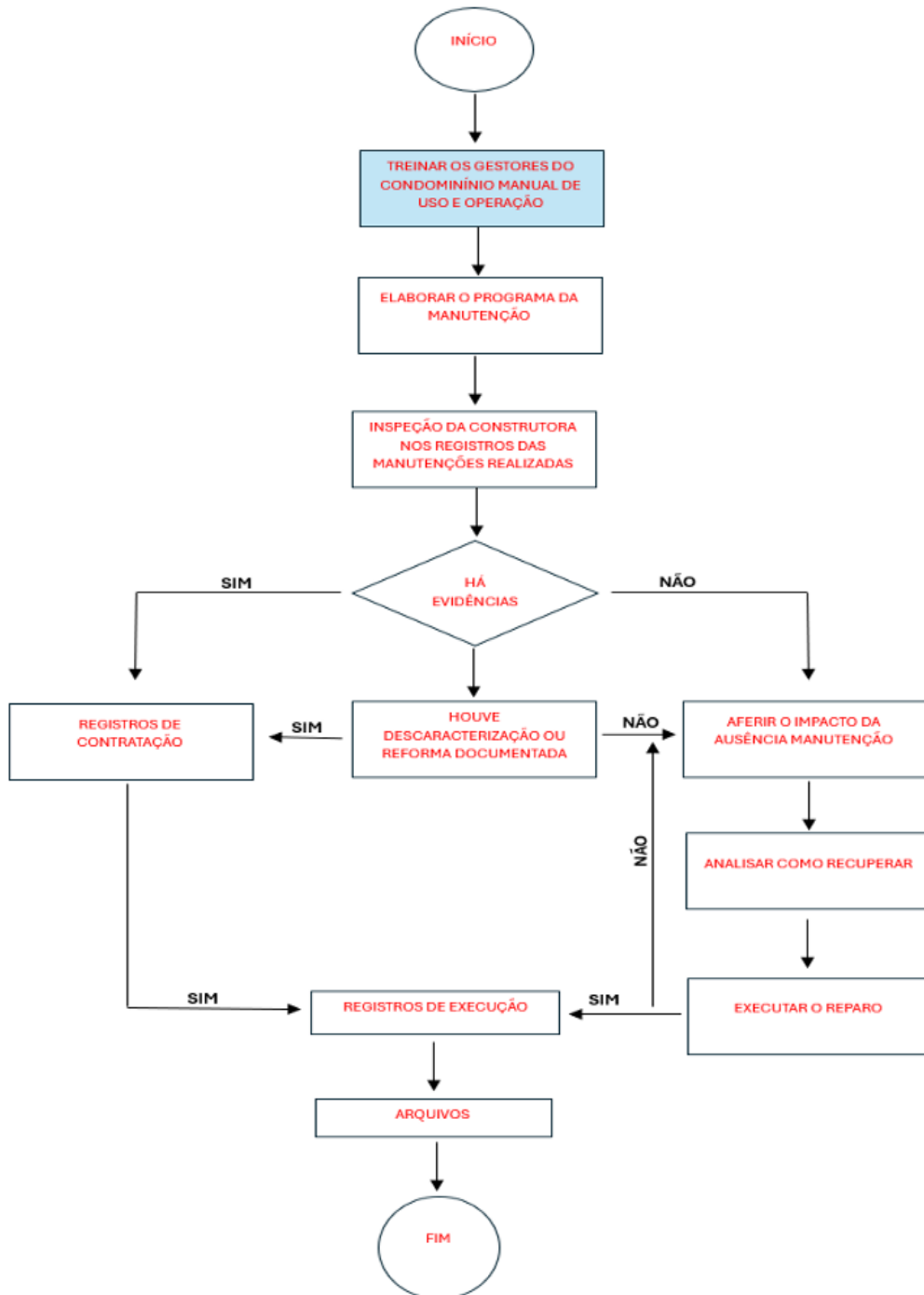
Figura 2: Acompanhamento técnico para longevidade da edificação



Fonte: adaptado pelos autores da ABNT NBR 15.575.

É importante ressaltar que o síndico deve passar por um treinamento específico fornecido pela Incorporadora e pela Construtora a respeito desses procedimentos durante a entrega da documentação do empreendimento, assegurando, assim, sua capacitação para a adequada administração e realização das manutenções estabelecidas.

Figura 3: Efeitos da Gestão Documental na Fase Pós-Obra



Fonte: adaptado pelos autores da ABNT NBR 5.674.

Dessa maneira, as Figuras 2 e 3 evidenciam a importância da atuação da construtora e da incorporadora no acompanhamento das condições de uso, operação e manutenção das edificações após a entrega das unidades, incluindo a verificação das manutenções executadas pelo condomínio, da documentação técnica disponibilizada ou ausente e dos respectivos impactos no desempenho dos sistemas construtivos ao longo da vida útil da edificação. Nesse contexto, estabelece-se a correlação entre as causas identificadas na Seção 4 e as propostas de mitigação apresentadas na Seção 5, reforçando que as falhas observadas no pós-obra devem obrigatoriamente atuar como mecanismo de retroalimentação contínua para os processos de projeto, execução, controle da qualidade, assistência técnica e manutenção predial.

As propostas desenvolvidas na Seção 5 foram estruturadas para atuar diretamente sobre os principais pontos críticos identificados ao longo da experiência dos autores, promovendo maior integração entre as etapas do empreendimento e contribuindo para a redução das manifestações patológicas, dos retrabalhos, dos custos corretivos e das demandas pós-obra. Nesse sentido, a assistência técnica deixa de possuir caráter exclusivamente corretivo e passa a assumir função estratégica na melhoria contínua do processo construtivo.

No que se refere às deficiências de projeto, verificou-se que a ausência de integração entre obra e pós-obra, a baixa comunicação entre equipes, os projetos omissos à execução e a limitada consideração dos aspectos de manutenibilidade contribuem para a recorrência de falhas e para a redução da vida útil dos sistemas construtivos. Diante desse cenário, a Proposta 1 — Projetos e Manutenibilidade, especialmente em empreendimentos de Mercado Popular, como os HIS, propõe a incorporação de critérios de manutenção, durabilidade e compatibilização técnica ainda nas fases iniciais de concepção, além da utilização de checklists técnicos fundamentados em experiências anteriores como ferramenta preventiva e de retroalimentação dos projetos.

Em relação às falhas no processo construtivo, constatou-se que mão de obra pouco qualificada, deficiência de fiscalização, foco excessivo em prazo e produção e baixa aderência aos procedimentos executivos e de qualidade favorecem a transferência de problemas para o pós-obra, elevando os custos com assistência técnica e a incidência de manifestações patológicas precoces. Como medida mitigadora, a Proposta 2 — Terminalidade da Obra com Foco na Qualidade, enfatiza o fortalecimento do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), a ampliação das inspeções técnicas, o uso da engenharia diagnóstica e a integração entre as equipes de obra e assistência técnica, permitindo que as falhas identificadas retornem como aprendizado técnico para os empreendimentos futuros.

Outro ponto crítico identificado refere-se às intervenções inadequadas realizadas pelos usuários após a ocupação das unidades, frequentemente sem orientação ou acompanhamento técnico. Associada à fragilidade da gestão condominial inicial, essa condição favorece danos aos sistemas construtivos, perda de desempenho e aumento das demandas indevidas à assistência técnica. Nesse contexto, a Proposta 3 — Uso de Tecnologias (RA, BIM e IoT), busca ampliar o acesso às informações técnicas da edificação, facilitar a visualização dos sistemas construtivos e apoiar a tomada de decisão dos usuários quanto ao uso, operação e manutenção da edificação, contribuindo para maior conscientização e redução de intervenções inadequadas. Contudo, a implementação desses recursos tecnológicos deve considerar o perfil dos usuários da edificação, cabendo à incorporadora, desde a fase de comercialização, identificar limitações relacionadas ao uso de tecnologias digitais, especialmente entre públicos com menor familiaridade tecnológica, como idosos. Dessa forma, as soluções propostas devem contemplar critérios de acessibilidade, usabilidade e inclusão geracional, garantindo que as ferramentas adotadas sejam compatíveis com as necessidades da fase de uso, operação e manutenção da edificação.

Por fim, observou-se que a ausência de cultura de manutenção preventiva constitui um dos principais fatores associados à degradação precoce das edificações habitacionais. O desconhecimento técnico dos usuários, o reduzido prazo para consolidação da gestão condominial, a alta rotatividade de síndicos e a deficiência no acompanhamento pós-entrega favorecem manutenções tardias, aumento dos custos corretivos, perda de garantias e judicialização de conflitos. Como medida mitigadora, a Proposta 4 — Otimização do Programa de Manutenção, prevê a estruturação de planos preventivos, a capacitação de gestores condominiais, o monitoramento técnico durante o período de garantia e a disponibilização de manuais mais acessíveis e interativos, fortalecendo a integração técnica entre incorporadora, construtora e condomínio.

Dessa forma, verifica-se que as propostas apresentadas na Seção 5 atuam de maneira integrada e complementar, buscando mitigar as causas-raiz identificadas na pesquisa e promover melhorias contínuas no desempenho, durabilidade e gestão dos empreendimentos habitacionais. A consolidação dessas diretrizes permitiu, ainda, o desenvolvimento da Jornada da Assistência Técnica, proposta pelos autores como ferramenta de integração e retroalimentação contínua entre as etapas de projeto, execução, entrega, uso, operação e manutenção das edificações.

5.5 Elaboração da Jornada do Cliente

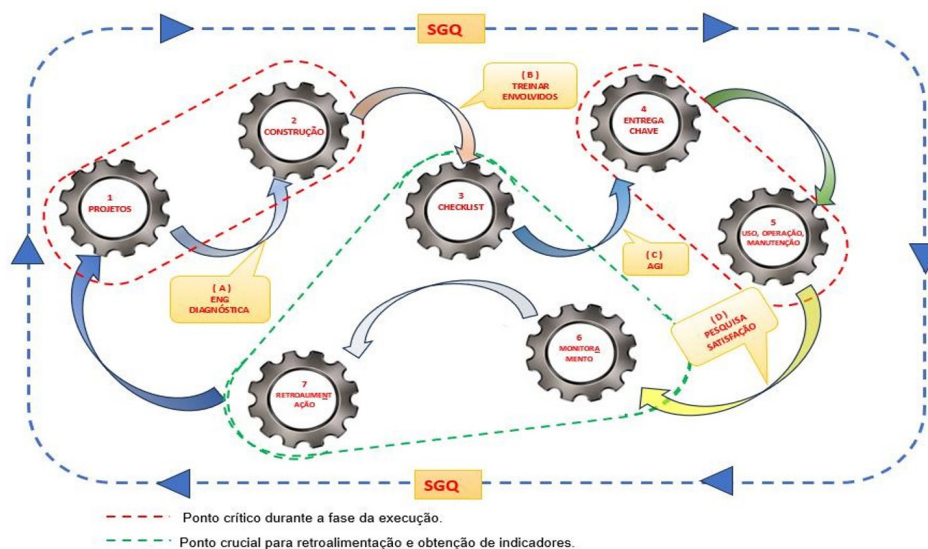
A Jornada do Cliente, concebida como principal produto deste estudo, é estruturada como um modelo técnico-operacional contínuo, que integra todas as fases do empreendimento, da concepção ao uso, com o objetivo de mitigar falhas recorrentes e garantir a retroalimentação sistemática do processo.

Diferentemente de abordagens tradicionais, a Jornada não se limita à experiência do usuário final, mas incorpora um fluxo estruturado de informações entre áreas, conectando diretamente as propostas da Seção 5 às etapas do ciclo de vida do empreendimento.

Estrutura da Jornada: fases, transições e responsabilidades

A operacionalização da Jornada do Cliente é dividida em 7 fases integradas, conforme é apresentado na FIGURA 4.

Figura 4: Jornada do Cliente focada na fase de uso, operação e manutenção.



Fonte: autores.

As setas representadas na FIGURA 4 não simbolizam apenas a conexão entre as fases da Jornada do Cliente, mas também os principais mecanismos de sustentação técnica, operacional e estratégica responsáveis pela retroalimentação contínua do sistema de gestão do empreendimento.

- Seta A – Fase de desenvolvimento do projeto e execução do empreendimento

Representa a consolidação do conhecimento técnico adquirido ao longo do ciclo do empreendimento, incluindo consultorias especializadas, engenharia diagnóstica, experiências aprendidas, manifestações patológicas, históricos de assistência técnica e retroalimentação obtida em empreendimentos anteriores. Nesta fase (momentos 1 e 2), o conhecimento acumulado torna-se fundamental para orientar decisões técnicas mais assertivas nas fases subsequentes.

- Seta B – Fase de compilação de dados, realização de inspeções e padronização técnica

Corresponde ao processo de desenvolvimento e capacitação dos envolvidos, contemplando treinamento das equipes, realização de inspeções, padronização de métodos executivos, elaboração de checklists, definição de métodos de validação de serviços e alinhamento entre os agentes participantes do empreendimento. Esta fase (momentos 3, 6 e 7) possui papel fundamental na transformação das informações obtidas em práticas operacionais aplicáveis aos novos empreendimentos.

- Seta C – Fase de implantação e uso e ocupação

Representa o momento de interação direta com síndicos, condôminos e usuários da edificação após a entrega do empreendimento. Nesta fase (momento 4 e 5), tornam-se essenciais as ações de orientação quanto ao uso correto da edificação, conscientização sobre a importância da manutenção preventiva, incentivo à utilização adequada do manual de uso, operação e manutenção, além do monitoramento periódico das rotinas de conservação. A entrega da unidade passa a ser compreendida como uma oportunidade estratégica de educação e conscientização dos usuários, buscando reduzir falhas decorrentes do uso inadequado da edificação.

- Seta D – Fase de análise de resultados, satisfação do cliente e melhoria contínua

Constitui um dos pontos mais estratégicos da Jornada do Cliente, pois representa o momento em que são consolidados os resultados provenientes de todas as ações praticadas nas fases anteriores. Nesta fase, são identificados os êxitos alcançados, os pontos críticos, as oportunidades de melhoria, os indicadores de desempenho, a eficiência das soluções adotadas e, principalmente, o nível de satisfação do cliente em relação ao empreendimento entregue.

O fechamento do ciclo ocorre quando as informações consolidadas nesta fase retornam à Seta B e A, permitindo que os dados sejam compilados, tratados e transformados em novos critérios técnicos, treinamentos, padrões executivos e diretrizes para alimentação dos futuros empreendimentos, promovendo assim a melhoria contínua do sistema.

Dessa forma, a Jornada do Cliente deixa de ser apenas um conceito voltado à experiência do usuário e passa a atuar como um sistema estruturado de gestão do conhecimento, garantindo a evolução contínua dos empreendimentos por meio da integração entre projeto, execução, uso e assistência técnica.

6 Considerações Finais

Os resultados evidenciam que as falhas ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos decorrem, em grande medida, da baixa integração entre as fases de projeto, execução, entrega, uso e operação, bem como do aproveitamento ainda limitado das informações geradas pela assistência técnica como mecanismo de retroalimentação dos processos. Nesse contexto, conclui-se que os departamentos de assistência técnica e qualidade, ricos em dados sobre manifestações patológicas, falhas recorrentes e atendimento ao usuário, devem ser efetivamente integrados às fases que os antecedem, atuando de forma proativa no desenvolvimento de projetos, no controle da execução e na melhoria contínua dos empreendimentos.

Adicionalmente, tais processos devem ser fortalecidos por consultorias especializadas, como empresas de engenharia diagnóstica, e por programas contínuos de capacitação das equipes, garantindo maior capacidade de inspeção, análise e orientação dos diversos intervenientes ao longo do ciclo produtivo. Essa abordagem deve se estender também à fase de uso e ocupação, por meio da capacitação de síndicos, gestores condominiais e usuários quanto à adequada realização da manutenção preventiva, contribuindo para a durabilidade, desempenho e preservação das garantias da edificação.

Ressalta-se, ainda, que os departamentos de qualidade e assistência técnica devem atuar de forma complementar e assistida por engenheiros, arquitetos e consultores, assegurando suporte técnico qualificado para a tomada de decisão e para a retroalimentação contínua dos processos construtivos. Nesse sentido, a Jornada da Assistência Técnica se consolida como uma diretriz estruturante para integração entre projeto, execução, entrega, assistência técnica, uso, operação e manutenção predial.

A adoção dessa abordagem tende a proporcionar maior êxito aos empreendimentos habitacionais, reduzindo a incidência de falhas e ocorrências tanto na fase de entrega das unidades quanto durante o uso e operação das edificações, além de contribuir para o aumento do desempenho, da durabilidade e da satisfação dos usuários. Consequentemente, fortalece-se a efetividade dos princípios estabelecidos pelo Programa Brasileiro da

Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H), especialmente no que se refere à melhoria contínua da qualidade, ao desempenho das edificações e à redução da recorrência de não conformidades no setor da construção civil.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5674** – Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de Gestão de Manutenção: Manutenção de edificações. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. 26 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14037:2024** – Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. 23 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15575-1**: Edificações habitacionais - Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais. 6 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. 95 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16636-2**: Elaboração e desenvolvimento de serviços técnicos especializados de projetos arquitetônicos e urbanísticos Parte 2: Projeto arquitetônico. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 17 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16.280** - Reforma em edificações - sistemas de gestão de reformas - requisitos: 4 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17170**: Edificações — Garantias — Prazos recomendados e diretrizes. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2022. 35 p.

BAYERLEIN, R. **Diretrizes para elaboração de projeto para produção de vedações verticais de alvenaria para diferentes perfis de empresas construtoras**. 2014. 104 f. Monografia (Especialização) - Curso de MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

BRASIL. Lei nº 8.078, de 11 de setembro de 1990. **Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências** - CDC. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 12 set. 1990.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (Brasil) (org.). **Boas práticas para entrega do empreendimento desde a sua concepção**. Brasília: CBIC 2016. 71 p.

CONSELHO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO ESPÍRITO SANTO (Espírito Santo) (org.). **Percepções da sociedade sobre Arquitetura e Urbanismo**. 2015. Disponível em: <https://www.caues.gov.br/pesquisa-inedita-percepcoes-da-sociedade-sobre-arquitetura-e-urbanismo/>. Acesso em: 13 maio 2024.

DEL MAR, Carlos Pinto Del. **Direito na Construção Civil**. São Paulo: Pini, 2015.

DEL MAR, C. P. **Apresentação**: ABNT NBR 17.170 leitura sob o prisma jurídico. São Paulo: Secovi, 2023. 27 p.

FLORES-COLEN, I. *et al.* **Manual de Manutenção em Edificações**: estudos técnicos e aplicações. São Paulo: Leud, 2022. 440 p

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2022**: cerca de oito a cada dez pessoas moravam em casas, mas cresce proporção de moradores em apartamentos. Agência IBGE Notícias, Rio de Janeiro, 23 fev. 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39239-censo-2022-cerca-de-oito-a-cada-dez-pessoas-moravam-em-casas-mas-cresce-proporcao-de-moradores-em-apartamentos>. Acesso em: 6 jun. 2025.

SITTER, W. R. Costs for service life optimization: the law of fives. **In**: CEB-RILEM. Durability of concrete structures: proceedings of the International Workshop, Copenhagen, 18–20 May 1983. Copenhagen: CEB, 1984. p. 213–223.

XXXXXXXXXX



Para obter mais informações
sobre os mestrados profissionais

Entre em contato com Adilson ou Mary pelo e-mail
mestrado@ipt.br
ou ligue para (11) 3767.4673

Sobre os cursos de especialização,
curta duração e educação corporativa


Entre em contato com Andrea pelo e-mail
cursos@ipt.br
ou ligue para (11) 3767-4226

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
Av. Prof. Almeida Prado, 532
Cidade Universitária - São Paulo - SP
CEP 05508-901 - Brasil

Central de Relacionamento com o Cliente
(11) 3767-4102 / 4456 / 4091

Ensino Tecnológico
(11) 3767-4673 | mestrado@ipt.br

 <https://www.instagram.com/iptensinotecnologico/>

 <https://bit.ly/FacebookEnsinoTecnologicoIPT>

 <https://bit.ly/LinkedinEnsinoTecnologicoIPT>

 <https://www.youtube.com/@cursosipt>

ipt⁺
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS
ENSINO TECNOLÓGICO



sapiens.ipt.br

revista ipt

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Confira em nosso site todas as edições da revista

<https://bit.ly/revistaIPT>



ipt
INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS
ENSINO TECNOLÓGICO

