



XII CONGRESSO BRASILEIRO
de PONTES e ESTRUTURAS
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

PONTES E VIADUTOS NA CIDADE DE SÃO PAULO EM SITUAÇÃO EM SITUAÇÃO EXCEPCIONAL DE INCÊNDIO

Vinicius Ippolito¹, Carla Neves Costa², Alexandre Beltrame³

¹Engenheiro Civil / Mestrando / Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas / vinicius.ippolito@outlook.com

² Professora Doutora / Departamento de Estruturas, Universidade Estadual de Campinas / carlac@fec.unicamp.br

³ Engenheiro Civil / Diretor Presidente / Beltrame Engenharia S/S Ltda. / alexandre@beltrame.eng.br

Resumo

A ocorrência de incêndios em OAE's (Obras de Arte Especiais) são bem menores comparadas àquelas em edifícios. Normalmente, o incêndio é uma consequência de uma colisão de veículos, sendo uma ação localizada sobre o tabuleiro, que danificam o pavimento ou as defensas. Mas, quando ocorrem incêndios de grandes proporções, sobretudo em pontes e viadutos que cruzam cidades, as consequências podem ser catastróficas mesmo que não haja vítimas fatais. Devido à sua função principal – servir de suporte de cargas móveis de transportes – as OAE's atendem ao transporte de uma variedade de carregamentos, estando expostas a diversas combinações de ações e situações de risco que podem paralisar o fluxo de tráfego, impactando não só Economia da região, mas também, de um país. Some-se ainda, o risco de incêndio causados por ocupações irregulares, onde o déficit habitacional contribui para o assentamento caótico de moradias irregulares sob as OAE's, tão comuns nas grandes metrópoles do Brasil. Não é de se surpreender com a frequente ocorrência de incêndios, repetições de sinistros em uma mesma obra em períodos inferiores a dez anos, observadas nas OAE's de São Paulo. Patologias estruturais de origem térmica acima dos 100 °C são a principal causa de interdições e intervenções por longos períodos nas pontes e viadutos. Neste trabalho, é apresentado um estudo descritivo das principais OAE's com base numa revisão de alguns casos e uma análise estatística descritiva com base nos registros de órgãos públicos e privados. O estudo objetiva conhecer o perfil de ocupação das OAE's da região metropolitana de São Paulo para avaliar a vulnerabilidade ao risco de incêndio acidental.

Palavras-chave: pontes de concreto; viadutos de concreto; segurança contra incêndio; durabilidade.

Introdução

Ao longo da vida útil, as principais OAE's (Obras de Artes Especiais) da cidade de São Paulo passaram por situações de incêndios acidentais que causaram danos significativos às estruturas de pontes e viadutos que cruzam a cidade. Só no ano de 2019, três incêndios de grande intensidade paralisaram o funcionamento do Viaduto Bresser (23 de março de 2019), da Ponte do Jaguaré sobre o rio Pinheiros (21 de junho de 2019) e do Viaduto Alcântara Machado (12 de setembro de 2019), sendo este último, recordista de interdição e de intervenção estrutural de longa duração para reabilitação estrutural de patologias causadas por incêndios (**Figura 1**).

Há 20 anos, em 11 de outubro de 1999, um incêndio na favela do Moinho, localizada embaixo do Viaduto Alcântara Machado destruiu oitenta moradias precárias, causou uma morte (AGUIAR, 2017), além danos à mesoestrutura que requereram uma interdição imediata, para as operações de reabilitação estrutural. Sete anos depois, o mesmo espaço embaixo do viaduto foi reocupado por moradias irregulares de madeira e papelão, criando-se o risco de incêndio de grandes proporções se repetir (Folha da Vila Prudente, 2013). Para conter as ocupações irregulares, a Prefeitura do Município de São Paulo passou a gerenciar os espaços abaixo da superestrutura atribuindo novas funções de uso às OAE's, tais como: quadras poliesportivas, oficinas de atividades artísticas e culturais, almoxarifados da própria administração pública municipal, etc. (Lei Nº 13.426/2002; Lei Nº 16.703/2017). O viaduto Alcântara Machado adquiriu nova função, passando a abrigar quadras poliesportivas, banheiros e estacionamento (**Figura 2, Figura 3**; PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 2007).



Fonte: G1 (2020).



Fonte: R7 (2019)



Fonte: Prefeitura do Município de São Paulo (2019).

Figura 1: Incêndio no viaduto Alcântara Machado, em 2019.



Figura 2: Academia de musculação sob o viaduto Alcântara Machado (BERGAMIN, 2019).



Figura 3: Academia de box com octógono “Garrido Box” locada desde 2006 sob o viaduto Alcântara Machado, São Paulo, SP (CECCONELLO & MACHADO, 2014)

A nova ocupação regular dos baixos do viaduto não impediu a ocupação caótica e irregular nos arredores do encontro da estrutura (AGUIAR, 2017; **Figura 4**), facilitando a ocorrência de um incêndio severo, que não causou vítimas, mas inviabilizou parcialmente o seu funcionamento ¹, devido aos danos estruturais extensivos. O viaduto dá continuidade à Avenida Radial Leste, interligando a Zona Leste ao centro da cidade de São Paulo. A paralisação dessa via de acesso à região de maior concentração de habitantes gera transtornos não só de mobilidade, mas também de custos sobre produtos e serviços, uma vez que rotas alternativas usadas para o transporte são mais extensas.

Pontes e viadutos são OAE's possuem, normalmente, a única função de suporte de vias de transporte abertas, onde há o risco de incêndios hidrocarbonetos causados pela combustão de combustíveis dos veículos ou, eventualmente, de líquidos inflamáveis transportados por veículos-tanque. Para projeto de engenharia de estruturas e construção, a temperatura de incêndios hidrocarbonetos é representada pela curva “H” (**Figura 5**). Os incêndios de materiais hidrocarbonetos são mais severos, comparados aos incêndios de materiais celulósicos típicos das edificações (curva ISO 834:1975; **Figura 5**). além disso, os incêndios são pontuais em pontes e viadutos, afetando normalmente, a pista de rolamento ou as defensas sobre a superestrutura. Por essa razão, despreza-se a situação excepcional de um incêndio no projeto das estruturas pontes e viadutos, não havendo recomendações nas normas técnicas de projeto estrutural do Brasil. Contudo, nos últimos vinte anos tem sido observado um aumento significativo de incêndios nas OAE's em todo o mundo, cujas principais causas são: o aumento do tráfego de produtos altamente inflamáveis e o foco do sinistro de origem florestal – os “incêndios naturais” – em pontes próximas às regiões rurais ou florestais (KODUR & NASER, 2020). Neste trabalho, são apresentadas: uma revisão dos três principais casos de incêndios de OAE's, marcadas por ocorrências repetidas e graves danos estruturais; uma análise estatística descritiva preliminar² das OAE's registradas no cadastro da Prefeitura do Município de São Paulo (SINAENCO, 2017) e no acervo técnico da Beltrame Engenharia S/S Ltda.

¹ A OAE ficou interdita após os incêndios e liberada após vistorias técnicas.

² A cadastro das OAE's do município de São Paulo é recente; pode haver alguma ponte, viaduto e passarela que não havia sido inspecionada para o registro no banco de dados apurado pelo Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva (SINAENCO, 2017), ou não tenha sido vistoriada pela Beltrame Engenharia S/S Ltda. até a presente data.



Figura 4: Ocupação de moradias irregulares sob o viaduto Alcântara Machado (KRUSE & RESK, 2019).

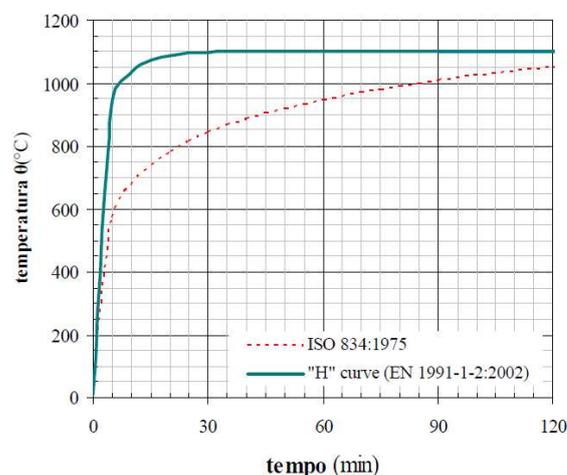


Figura 5: Curvas de incêndio de materiais celulósico (ISO 834:1975) e "H" (hidrocarbonetos) (COSTA, 2008).

Revisão de alguns casos de incêndios em OAE's

▪ Viaduto Orlando Murgel:

Projetado em 1968 pelo escritório de engenharia J.C de Figueiredo Ferraz, o viaduto está localizado no bairro do Bom Retiro, interligando a Avenida Rudge com a Avenida Rio Branco, transpondo a Rua Cônego Vicente Miguel Marina, a Rua Doutor Elias Chaves e os trilhos da CPTM (Companhia Paulista de Trens Metropolitanos) entre as estações Palmeiras/ Barra Funda e a estação Júlio Prestes da linha 08 – Diamante (**Figura 6**). As principais características de projeto são: trem-tipo TB-450, com alinhamento curvilíneo e normal ao obstáculo, com inclinação no sentido transversal e longitudinal; extensão total de 500 m composta por um tabuleiro isostático de 32 vãos; superestrutura com arranjo estrutural do tipo grelha e mesoestrutura formada por 33 linhas de apoio; largura de 31 m compreendendo 4 faixas de rolamento em ambos os sentidos; barreiras rígidas padrão New Jersey, passeio e guarda-corpos em ambas as laterais. No projeto original consta que o viaduto foi projetado para trem-tipo TB-360 (trem-tipo normativo na época da construção). Em 2006, o viaduto passou por recuperação e reforço, tendo a sua capacidade de suporte aumentada para o trem-tipo TB-450. Junto a Rua Doutor Elias Chaves existe uma comunidade, a favela do Moinho, que é a única favela ainda existente na região central de São Paulo. O nome tem origem no antigo Moinho Fluminense que funcionava no local. As condições precárias das moradias construídas sem quaisquer critérios de projeto (construções sem recuos, material predominante é a madeira) levam à frequente incidência de incêndios que se propagam rapidamente. Os incêndios mais severos com graves danos estruturais ocorreram em 2011, 2012 e 2015; todavia, sem uma assessoria policial é praticamente impossível acessar e vistoriar os baixos do viaduto devido à insegurança³.

Em 23 de dezembro de 2011, um incêndio de grandes proporções destruiu quase a metade das construções da comunidade, propagando-se para o Ed. Moinho, de seis andares de área construída de 20.000 m². O edifício era antigo e abandonado, em estado precário de conservação, precisou ser implodido após o incêndio para impedir o colapso estrutural iminente. O incêndio consumiu 368 barracos, deixando 1500 desabrigados, uma vítima fatal e três feridos (FERRAZ, 2012; G1, 2015). A mesoestrutura abaixo do tabuleiro foram engolidos pelas chamas (**Figura 7**).

Em 17 de setembro de 2012, um novo incêndio sob o viaduto ocasionou novos danos à comunidade destruindo 80 moradias e desabrigando 300 famílias, além de mais uma vítima fatal (PAULA, 2012). O viaduto foi interditado por seis meses para as obras de reabilitação estrutural, a circulação de trens da CPTM foi interrompida por semana na região. O tráfego foi liberado⁴ no dia 18 de Março de 2013 (Folha de São Paulo, 2013).

³ Os autores não conseguiram fazer o registro fotográfico do estado atual de conservação devido às intimidações de vagantes que impediram a vistoria. A favela ocupa o local e arredores, é apontada como a principal fonte fornecedora de drogas para a Cracolândia (ZYLBERKAN, 2017). A região é marcada por instabilidade social. Há constantes invasões do espaço público e arredores, seguidas de operações policiais para a reintegração de posse (REDE BRASIL ATUAL, 2020).

⁴ Durante a obra de reparos estruturais, o viaduto foi utilizado com restrições: apenas os ônibus públicos podiam circular normalmente; os veículos menores foram proibidos de utilizar o viaduto das 5h00 às 22h00 do dia.



Figura 6: Localização do Viaduto Eng. Orlando Murgel, em São Paulo, SP. **Fonte:** Google Maps & CNES (2021); adaptado.



Figura 7: Incêndio na favela do Moinho, que atingiu o Viaduto Eng. Orlando Murgel, em 2012 (PAULA, 2012).

Em 28 de maio de 2015, mais um incêndio na comunidade do Moinho, dessa vez, com menor intensidade do que os incêndios anteriores, porém, foi necessária a interdição parcial do viaduto para reparos, com duas faixas inutilizadas no sentido bairro, além da interrupção da circulação de trens da CPTM (G1, 2015).

Em uma inspeção visual para o desenvolvimento desta pesquisa, foram observadas anomalias (**Figura 8**): manchas de fuligem na laje e em vigas longarinas, fissuras com eflorescência na laje, desagregação do concreto nas vigas transversinas com armadura exposta; sinais de infiltração de água em pilares e vigas transversinas e lascamento do concreto. No encontro do viaduto junto à Rua Cônego Vicente Miguel Marino é possível observar a existência de ocupações diversas sob o viaduto, tais como: depósito de materiais, estacionamento de veículos, ecoponto de reciclagem e oficina de escolas de samba (**Figura 9**). Não é de se surpreender com a facilidade de propagação de incêndio para os baixos deste viaduto e os riscos, tampouco com a repetição de sinistros. A Prefeitura (2019) publicou o edital de licitação para recuperação de OAE's, incluindo o Viaduto Eng. Orlando Murgel, cujo estado real de conservação será conhecido quando uma vistoria e inspeção profunda forem realizadas.



Figura 8: Vista lateral do encontro 01 do Viaduto Eng. Orlando Murgel, transpondo a Rua Dr. Elias Chaves (Comunidade da favela do moinho). **Fonte:** Autores.



Figura 9: Vista lateral do Viaduto Eng. Orlando Murgel na Rua Rudge com a Rua Cônego Vicente Miguel Marino. **Fonte:** Autores.

▪ Viaduto Santo Amaro

Projetado em 1970 pelo escritório de engenharia Américo Bove – Projetos de Estruturas, o viaduto está localizado no bairro do Itaim-Bibi, interligando a Avenida Santo Amaro em transposição a avenida dos Bandeirantes, sendo duas estruturas semelhantes em cada sentido do tráfego – sentido bairro e sentido centro. As principais características da obra são: TB-450, alinhamento curvilíneo e normal ao obstáculo, inclinação no sentido transversal e longitudinal; extensão total de 171,00 m, composta por 2 tabuleiros isostáticos nos vãos de extremidades e 1 tabuleiro hiperestático de 3 vãos no trecho intermediário, totalizando 5 vãos, a superestrutura tem arranjo estrutural em seção celular (caixão) e mesoestrutura formada por 06 linhas de apoio, largura de 22,00 m compreendendo 06 faixas de rolamento, barreiras rígidas padrão New Jersey, passeio e guarda-corpos em ambas as laterais. O projeto original foi desenvolvido para o trem-tipo TB-360 (trem-tipo normativo na época da construção). Em 2016, após obras de recuperação e verificação estrutural, o viaduto teve sua capacidade de suporte verificada para o trem-tipo TB-450.

Em 2008, o viaduto sofreu um incêndio de proporção menor, com intervenção para recuperação estrutural com adição de armadura de reforço e laminados de PRFC (Polímeros Reforçados com Fibras de Carbono) colados com adesivo epóxi pela técnica EBR (*Externally Bonded Reinforcement*).

Em 13 de fevereiro de 2016 um incêndio de graves proporções atingiu o Viaduto Santo Amaro, após a colisão entre um caminhão-tanque transportando gasolina e outro caminhão transportando açúcar. O viaduto foi interditado pela Defesa Civil e, seis dias depois, liberado parcialmente para a circulação de ônibus e taxis, enquanto as obras de reabilitação estrutural eram executadas. Os danos à estrutura foram de grande extensão: desagregações do concreto por lascamento com exposição de armadura (**Figura 10**), danos ao sistema de protensão com exposição de bainhas e deterioração total do sistema de reforço com lâminas de fibra de carbono (**Figura 11**). Foi liberado para o tráfego normal seis meses depois, quando as obras de reabilitação estrutural foram concluídas em 06 de Setembro de 2016.



Figura 10: Danos no concreto na parte inferior da superestrutura do Viaduto Santo Amaro devido ao incêndio de 2016. **Fonte:** G1 (2016).



Figura 11: Reforço de PRFC do Viaduto Santo Amaro, deteriorado pelo calor do incêndio de 2016. **Fonte:** SOLLERO *et al.* (2016).

▪ **Viaduto Alcântara Machado:**

Localizado no bairro da Mooca, no município de São Paulo, o viaduto interliga os trechos da Avenida Alcântara Machado / Radial Leste e transpõe a Rua Piratininga, a Rua Doutor Freire, a Rua André de Leão, a Rua Palmorino Mônaco e os trilhos da CPTM entre as estações Brás e a estação Juventus-Mooca da linha 10 – Turquesa.

O viaduto Alcântara Machado passou por três fases construtivas distintas: foi inaugurado em 1957 para a transposição dos trilhos da estrada de ferro Santos – Jundiaí, mas a segunda etapa foi construída em 1967 e, a terceira etapa, em 1972, para interligar as construções das etapas anteriores, finalizando a geometria atual do viaduto. Na terceira etapa, o projetado de interligação foi realizado pelo escritório de engenharia Américo Bove Projetos de Estruturas. As principais características de projeto são: trem-tipo TB-45; trechos curvilíneos e retilíneos, apresentando-se esconsa ou normal ao obstáculo, com inclinação no sentido transversal e longitudinal; extensão total aproximada de 573,15 m; composto por tabuleiros isostáticos de 24 vãos; superestrutura com arranjo estrutural do tipo grelha e mesoestrutura formada por 25 linhas de apoio; largura variável entre 32 m e 44,75 m compreendendo cinco faixas de rolamento em ambos os sentidos; barreiras rígidas padrão New Jersey, passeio e guarda-corpos em ambas laterais.

Abaixo dos cinco primeiros tabuleiros da estrutura há uma ocupação irregular de moradias precárias (**Figura 4**), que podem ser considerada uma comunidade em funcionamento, além da ocupação regular, na extensão restante do viaduto, tais como: quadras poliesportivas, academias, estacionamento de veículos, locais para estoque e armazenamento de materiais e oficinas (**Figura 2; Figura 3**).

No dia 11 de outubro de 1999, um incêndio em uma favela localizada embaixo do Viaduto Alcântara Machado consumiu oitenta construções irregulares de madeira e causou danos estruturais tão grandes (VIEIRA & ISHIKAWA, 2000), que o viaduto ficou sem funcionar por mais de quatro meses (Folha da Vila Prudente, 2013). No dia 12 de setembro de 2019, um incêndio de grandes proporções engoliu o viaduto na região dos tabuleiros

04, 05 e 06, sobre a Rua Piratininga (**Figura 12**). O incêndio destruiu as moradias irregulares embaixo do viaduto, deixando cerca de 130 famílias desabrigadas (O Estado de São Paulo, 2019). O viaduto sofreu uma interdição estrutural em caráter de emergência para inspeção e avaliação dos danos. O tráfego foi liberado parcialmente, apenas para veículos leves, enquanto as obras de reabilitação estrutural estão sendo feitas até a presente data.

Dentre as diversas manifestações patológicas observadas, são visíveis (**Figura 13**): áreas de concreto desagregado, com armadura principal exposta; em alguns trechos, as barras de aço apresentam uma corrosão evolutiva com as seções transversais reduzidas pela oxidação. Não se pode afirmar se todas as patologias têm relação direta com o incêndio de 2019, devido às restrições³ de acesso ao local que impedem vistorias técnicas regulares. Há possibilidades de anomalias pré-existentes há anos, terem sido agravadas pela ação do fogo, comprometendo a integridade estrutural do viaduto.



Figura 12: Incêndio no Viaduto Alcântara Machado, em setembro de 2019 (BAZANI, 2019).



Figura 13: Lascamentos do concreto e exposição da armadura da estrutura inferior do Viaduto Alcântara Machado após o incêndio, em setembro de 2019. **Fonte:** Autores.

Metodologia da pesquisa

▪ Materiais e métodos

- ❖ Dados coletados no cadastro de OAE's da Prefeitura (SINAENCO, 2017), no Acervo Técnico da Beltrame Engenharia S/S Ltda., e em jornais diários *online* (Folha de São Paulo, 2019; CAVENAGUI & MOREIRA, 2019; CARDOSO, 2019)
- ❖ Método de análise adotados: Análise Estatística Descritiva. Todos os cálculos, tabelas e gráficos foram realizados com auxílio de planilhas do MS[®] Excel[®] 2019, da plataforma Windows v. 10. A **Figura 14** apresenta uma síntese dos procedimentos metodológicos.

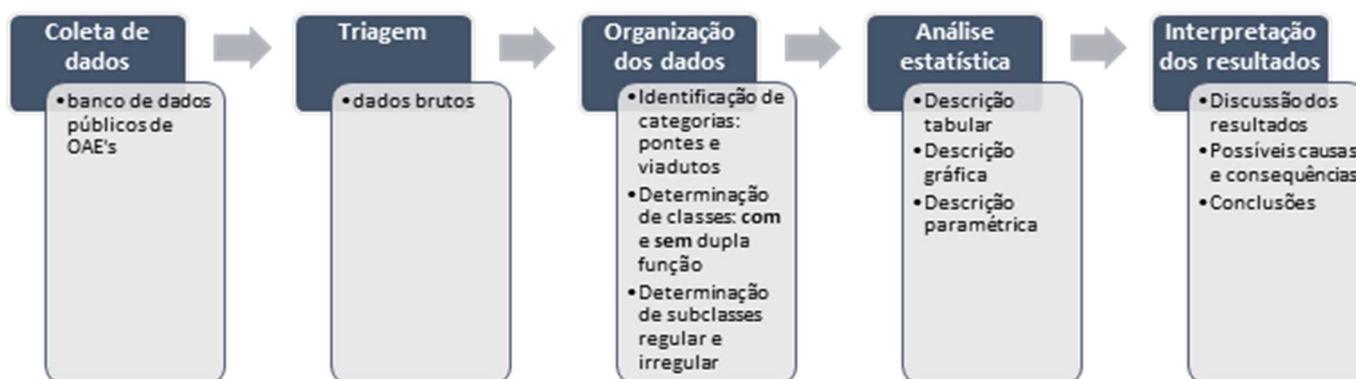


Figura 14: Procedimentos metodológicos de investigação científica. **Fonte:** Autores.

▪ Resultados e discussão

As **Figura 15** e **Figura 16** apresentam uma síntese da análise estatística descritiva. Os resultados baseiam-se na coleta de dados:

- ❖ Total de OAE's apuradas nas bases de dados: 163
- ❖ Total de OAE's com dupla função: 44

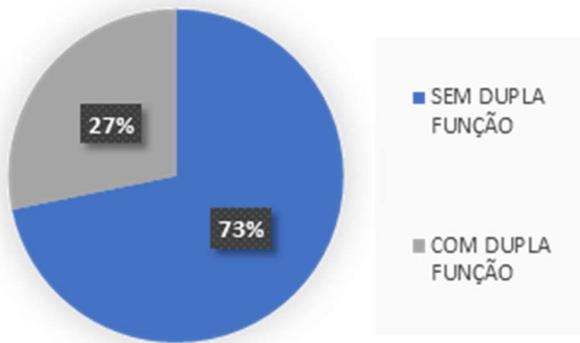


Figura 15: Perfil das OAE's em relação ao uso no município de São Paulo. **Fonte:** Autores.

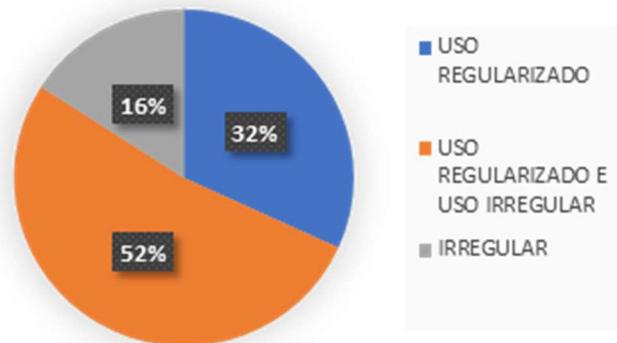


Figura 16: Perfil das OAE's de múltiplo uso no município de São Paulo. **Fonte:** Autores.

Para os resultados da **Figura 16**, as variáveis qualitativas foram estabelecidas assumindo-se os critérios:

- ❖ **Uso regularizado:** ocupação regularizada Prefeitura do Município de São Paulo, por meio de concessões à terceiros ou por uso diverso pela própria Administração Pública, tais como: almoxarifados da CET (Companhia de Engenharia de Tráfego) ou outro órgão da Prefeitura do Município de São Paulo, ONGs, academias poliesportivas, espaços culturais, etc.
- ❖ **Uso regularizado e uso irregular:** ocupação reconhecida pela Prefeitura do Município de São Paulo, dividindo o espaço com ocupação irregular (invasões e assentamentos *sub judice*).
- ❖ **Uso irregular:** ocupação não reconhecida pela Prefeitura do Município de São Paulo, tais como: invasões, depósitos clandestinos de entulhos.

Os resultados mostram uma quantidade significativa de OAE's com dupla função: suporte de tráfego de veículos e “edificação” usando-se os baixos da estrutura para a ocupação de academias poliesportivas, almoxarifado, estacionamento, etc. São 27% – mais de um quarto – que correspondem a 44 OAE's do município de São Paulo. No universo dessas 44 OAE's, 68% (que correspondem a 30 OAE's) apresentam ocupação irregular, aumentando-se o risco em potencial de incêndios severos devido à elevada carga de incêndio de material celulósico sob o tabuleiro e às atividades impróprias de manuseio de fogo⁵. Observa-se que o uso regularizado não eliminou as ocupações irregulares, embora tenha reduzido a área ocupada.

A revisão dos três casos apresentados mostra que há OAE's mais vulneráveis a incêndios do que outras dentro do mesmo traçado urbano. Dependendo da localidade, a paralisação do tráfego para reparos estruturais causa impactos sociais que ultrapassam os limites de transtornos do trânsito.

Devido à sua função principal – servir de suporte de cargas móveis de transportes – as OAE's suportam o transporte de uma variedade de carregamentos, estando expostas a diversas combinações de ações e situações de risco que podem paralisar o fluxo de tráfego, impactando não só Economia da região, mas também, de um país. Por isso, as OAE's são projetadas e construídas para uma VUP que, na prática, é ultrapassada às custas dos coeficientes de ponderação para as ações nas combinações últimas normais e das resistências para os estados limites últimos (ABNT NBR 8681:2003), nas situações de serviço.

O prolongamento da VUP implica em mudanças na frequência das ações excepcionais “ao longo da vida útil”, e expõe as OAE's a um fluxo de tráfego maior e à evolução dos meios de transporte de carga. São algumas das possíveis causas do aumento de incêndios severos em obras de infraestrutura nos últimos anos (GENCER, 2013 *apud* KODUR & NASER, 2020; **Figura 17; Figura 18**).

Com base na revisão bibliográfica de casos, observa-se maior incidência de incêndios nas OAE's envoltas por ocupação irregular, com repetição de sinistros nas mesmas obras, do que nas OAE's “isoladas”. Trata-se de uma análise qualitativa preliminar, com base na revisão de cerca de cinco casos, dentre os quais três foram apresentados.

O uso regularizado de ocupações pode reduzir o risco de incêndio e contribuir para um bom estado de conservação das estruturas. Para as OAE's existentes, trata-se de acréscimo de funções não consideradas no projeto original da estrutura, uma vez que pontes e viadutos não foram projetados para outra finalidade que

⁵ Queima de pneus e madeira para aquecimento dos moradores de rua nos períodos de clima frio, ou para barricada de proteção contra incursões policiais.

não seja o suporte de tráfego.



Figura 17: Colapso estrutural da estrutura de concreto armado viaduto/ponte da *Interstate 85*, em Atlanta, EUA, durante o incêndio em 2017. **Fonte:** AJC (2017).



Figura 18: Colapso estrutural da estrutura mista de aço e concreto do viaduto/ponte *McArthur Maze*, em Oakland, EUA, durante o incêndio em 2007. **Fonte:** MCKINLEY & MARSHALL (2007).

O aproveitamento de espaços vazios embaixo das OAE's vem sendo adotado por países de todos os continentes (**Figura 19**, **Figura 20**). É uma solução otimizada de *redesign* urbano, que atende às demandas de sustentabilidade social na gestão das cidades, para conservação, segurança e saúde pública dos vazios públicos. O incêndio do viaduto Alcântara Machado, em 1999, fez com que a Prefeitura do Município de São Paulo buscasse soluções contra a ocupação irregular, por meio da “Operação Viaduto”, nos anos 2000, para desocupar 43 viadutos considerados áreas de risco de incêndio em São Paulo (AGUIAR, 2017). As primeiras OAE's usadas como “teste-piloto” para múltipla ocupação regular: os viadutos Alcântara Machado e do Glicério (AGUIAR, 2017), seguidos do Viaduto Júlio de Mesquita Filho (A vida no Centro, 2020; Poli Notícias, 2020).



Figura 19: Espaço *A8enA* implantado sob o viaduto A8 em 2006, em Koogaan de Zaan, Reino dos Países Baixos⁶. **Fonte:** Prefeitura do Município de São Paulo (2016).



Figura 20: *Boat Basin Cafe* embaixo da *79th Street Rotunda* construída em 1937, em Nova York, EUA. **Fonte:** Prefeitura do Município de São Paulo (2016).

Um levantamento da Prefeitura do Município de São Paulo, em 2018, mostrou que de 62 OAE's, 19 abrigavam moradias irregulares (R7, 2018); 55 viadutos e sete pontes foram selecionadas para o projeto de ocupação regular dos baixos (R7, 2018), que foram aumentadas para 85 OAE's disponíveis à concessão de uso (BERGAMIN, 2019; Folha Noroeste, 2021).

Neste estudo, não foi realizada uma análise quantitativa da frequência de incêndios em OAE's que possuem múltiplas funções regularizadas pela Prefeitura do Município de São Paulo.

As normas técnicas de projeto de estruturas gerais e específicas de estruturas de pontes e viadutos do Brasil⁷,

⁶ Na cidade de Koogaan de Zaan, Reino dos Países Baixos, o espaço *A8enA* ocupa toda a extensão do viaduto A8, com múltiplos usos: uma pista de skate, uma galeria de *grafitti*, uma quadra poliesportiva, um supermercado, uma floricultura, uma peixaria, um estacionamento de automóveis com 120 vagas e uma pequena marina (**Figura 19**).

⁷ Normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

dos EUA⁸ e da UE⁹ (União Europeia) não apresentam critérios de projeto para pontes e viadutos para a situação de incêndio, tais como: curvas de incêndio, tempo de resistência ao fogo recomendado em função de tipologias da OAE's, critérios de desempenho, etc., similares às normas de projeto de estruturas de edificações. Nos EUA e em alguns países da UE (União Europeia), a segurança contra incêndio de pontes e viadutos é padronizada por outras normas de projetos complementares. A norma norte-americana NFPA 502 “*Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways*”¹⁰ fornece diretrizes gerais de projeto para pontes, recomendando-se análises de projeto “personalizadas” para determinar os riscos aceitáveis, incluindo possível colapso da estrutura, e o uso da curva de incêndio de materiais hidrocarbonetos RWS (*Rijkswaterstraat*), adotada por alguns países da UE, principalmente o Reino dos Países Baixos (COSTA & SILVA, 2006).

No Brasil, a legislação de segurança contra incêndio vigente (Portaria nº 108/2019 do Ministério da Justiça e Segurança Pública; Decreto do Estado de São Paulo Nº 63.911/2018) não menciona pontes, viadutos e passarelas.

Para as OAE's com dupla função – via de transporte sobe o tabuleiro com outro uso adicional embaixo – na ausência de quaisquer normas técnicas e regulamentos nacionais para a verificação da segurança contra incêndio, é possível considerá-las como “edificação” no espaço que abriga as ocupações que precisam de fechamento lateral parcial (quiosques de serviços, academias poliesportivas, almoxarifado, etc.). Os elementos estruturais da mesoestrutura confinada poderiam ser dimensionados conforme as normas de projeto estrutural de edifícios, seguindo-se as diretrizes da ABNT NBR 14432:2001 e IT nº 08/2019 (Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo). Essa simplificação não pode ser aplicada aos elementos da superestrutura e outras partes da mesoestrutura que estão sujeitos à colisão direta de veículos, à explosão, a incêndios de líquidos inflamáveis. Daí, recomenda-se a NFPA 502 (2020) para o projeto de toda a estrutura.

Conclusões

Neste estudo foi apresentada a revisão de alguns casos de incêndios e uma análise estatística descritiva de OAE's da cidade de São Paulo, SP, para obter um panorama do perfil em relação ao uso e à exposição ao risco de incêndio. Foram destacados os *cases* de grandes danos que requereram a interdição da via por médios e longos períodos para a execução de obras de inspeção e de recuperação. Trata-se de uma análise estatística de caráter generalista com base em cerca de 90% das OAE's do município de São Paulo, SP. A catalogação e registro das OAE's da cidade de São Paulo para o controle de riscos e gerenciamento de manutenções preventivas é recente. As bases de dados apresentaram limitações devido à falta de algumas informações e ausência de alguns registros no catálogo OAE's, que impediram uma análise descritiva de variáveis qualitativas, tais como, a idade e a tipologia estrutural.

Nas OAE's, o aumento da carga de incêndio e a redução da “reserva estrutural” ao longo do tempo, apontam para uma frequência maior de incêndios severos e colapsos estruturais nos últimos anos no mundo. Nos países onde o déficit habitacional e a desigualdade social são grandes, a expansão de favelas aumenta o risco a incêndios severos nas pontes e viadutos que cruzam as metrópoles. O aproveitamento de espaços vazios embaixo de pontes e viadutos é uma solução urbanística otimizada que reduz a vulnerabilidade das estruturas, mas não elimina os riscos de incêndios hidrocarbonetos.

Há um consenso na comunidade técnica internacional de Engenharia Civil sobre a necessidade de se considerar a casualidade de incêndios no projeto das estruturas de pontes. Não há normas técnicas de projeto estrutural em situação de incêndio específicas para pontes, viadutos e passarelas. As normas e códigos existentes apresentam recomendações gerais sinalizando para um projeto baseado no desempenho (*performance-based design*).

Agradecimentos

À Beltrame Engenharia S/S Ltda., por disponibilizar o acervo técnico de anos de inspeções, vistorias e análises de OAE's na região metropolitana de São Paulo e pelo apoio técnico e científico.

⁸ Normas do ACI (*American Concrete Institute*), do AISC (*American Institute of Steel Construction*), do AISI (*American Iron and Steel Institute*), do AITC (*American Institute of Timber Construction*) e da AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*).

⁹ Normas do CEN (*Comité Européen de Normalisation*) – os Eurocodes.

¹⁰ Norma da NFPA (*National Fire Protection Association*).

Referências bibliográficas

AGUIAR, V. M. **Baixios de viadutos como desafios urbanísticos: uma leitura da "terras de ninguém" nos viadutos Alcântara Machado e do Glicério**. 2017. Dissertação (Mestrado em História e Fundamentos da Arquitetura e do Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. doi:10.11606/D.16.2018.tde-08062017-104821. Acesso em: 26 Mar. 2021.

Após incêndio, Viaduto Alcântara Machado passa por vistoria nesta sexta. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, *online*, 13 set. 2019. Disponível em: <https://cutt.ly/7x3RjaB>. Acesso em: 26 mar. 2021

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2001. 14 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003. 18 p.

Baixos do viaduto Alcântara Machado viram espaço para prática de esporte. **Prefeitura Municipal de São Paulo**, Secretaria de Infraestrutura e Obras, São Paulo, 20 nov. 2007. Secretaria de Comunicação. Disponível em: <https://cutt.ly/1x3RamQ>. Acesso em: 01 mar. 2020.

Barracos voltam aos baixos de viaduto Alcântara Machado. **Folha da Vila Prudente**, São Paulo, 22 mar. 2013. Destaques da região. Disponível em: <https://cutt.ly/zx3Rec5>. Acesso em: 01 mar. 2020.

BAZANI, A. Incêndio interdita Viaduto Alcântara Machado nos dois sentidos. **Diário do Transporte**, [s. l.], *online*, 12 set. 2019. Disponível em: <https://bit.ly/39sOZBR>. Acesso em: 30 mar. 2021.

BERGAMIN, G. Projeto quer ocupar áreas sob viadutos de SP com atividades de lazer e cultura: Interessados da iniciativa privada não poderão alterar estruturas. **G1** (Portal), São Paulo, *online*, 27 jul. 2019. Disponível em: <https://cutt.ly/zx3E43Z>. Acesso em: 22 mar. 2021.

Calor no Viaduto Santo Amaro atingiu até 600°C após explosão, diz laudo. **G1** (Portal), São Paulo, 03 Mar. 2016. Disponível em: <https://glo.bo/2z9Ibde>. Acesso em: 28 de Março de 2021.

CARDOSO, W. Incêndio interdita viaduto na Radial Leste, em SP. **Agora São Paulo**, São Paulo, 13 set. 2019. Zona Leste; Centro, *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/mx3E1ph>. Acesso em: 28 mars. 2021.

CAVENAGUI, L.; MOREIRA, M. Incêndio interdita ponte do Jaguaré, na zona oeste de São Paulo. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 21 jun. 2019. Cotidiano, p. *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/Jx3EFPZ>. Acesso em: 28 mar. 2021.

CECCONELLO, C.; MACHADO, R. Academia de boxe sob viaduto de SP troca sucata por 'padrão Fifa'; assista. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 29 jul. 2014. Cotidiano, *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/Kx3EWoM>. Acesso em: 24 mar. 2021.

Complexo #9: Conheça o espaço criado para transformar entorno de viaduto na bela vista. **A vida no centro**, São Paulo, 16 jan. 2020. Cidades, *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/Zx3EcdF>. Acesso em: 22 mar. 2021. [Plataforma *online* de notícias a região do centro de São Paulo]

COSTA, C. N. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008. doi:10.11606/T.3.2008.tde-04092008-155911. Acesso em: 26 Mar. 2021.

COSTA, C. N.; SILVA, V. P. Revisão histórica das curvas padronizadas de incêndio. *In*: Seminário Internacional NUTAU'2006 – Inovações Tecnológicas e Sustentabilidade, 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: NUTAU/FAUUSP, 2006. 13 p. 1 CD-ROM. Disponível em: <https://bit.ly/3m1ZGR9>. Acesso em: 29 mar. 2021.

Empresários transformam espaço embaixo de viaduto de SP em complexo esportivo e cultural. **Poli Notícias**, Belo Horizonte, 11 fev. 2020. Bom exemplo, *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/jx3EhrU>. Acesso em: 21 mar. 2021.

FERRAZ, A. Após incêndio, edifício Moinho é finalmente demolido na Barra Funda. **O Estado de São Paulo, São Paulo**, 9 jan. 2012. Geral, *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/Jx3EaUJ>. Acesso em: 26 mar. 2021.

GOOGLE MAPS (USA); CNES / AIRBUS MAXAR TECHNOLOGY (France). **Viaduto Eng. Orlando Murgel**. Google Maps. [s. l.]: Google LLC, 2021. 1 imagem aérea digital. Disponível em:

<https://www.google.com/maps/@-23.5283648,-46.6509985,683a,35y,72.03h,21.24t/data=!3m1!1e3>. Acesso em: 27 mar. 2021.

Incêndio atinge Favela do Moinho, no Centro de São Paulo. **G1 (Portal)**, São Paulo, 28 maio 2015. São Paulo, *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/Yx3Erlr>. Acesso em: 26 mar. 2021.

Informações sobre o viaduto Alcântara Machado. **Prefeitura do Município de São Paulo**, São Paulo, 13 set. 2019. Secretaria Municipal de Justiça, *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/lx3W5Nt>. Acesso em: 21 mar. 2021.

KODUR, V. K. R.; NASER, M. Z. **Structural Fire Engineering**. New York: McGraw-Hill Education, 2020. 480 p. [ISBN ISBN-10: 126012858X; ISBN-13: 978-1260128581].

KRAUSE, T.; RESK, F. Baixos de viadutos em São Paulo têm lixo, barraco e até casas de alvenaria. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 25 jun. 2019. São Paulo, *online*. Disponível em: <https://bit.ly/3ubcesh>. Acesso em: 24 mar. 2021.

Licitação para explorar baixos dos viadutos Lapa e Pompeia avança e tem cinco interessados. **Folha Noroeste**, São Paulo, 15 jan. 2021. Regional, *online*. Disponível em: <https://bit.ly/3fm9zHW>. Acesso em: 21 mar. 2021.

MCKINLEY, J.; MARSHALL, C. Tanker Truck Fire Collapses Bay Area Overpass. **The New York Times**, New York, 30 Apr. 2007. US, *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/Bx3G3Os>. Acesso em: 29 mar. 2021.

MINISTÉRIO DA JUSTIÇA E SEGURANÇA PÚBLICA. Secretaria Nacional de Segurança Pública. Portaria Nº 108, de 12 de julho de 2019. Institui o Modelo Nacional de Regulamento de Segurança Contra Incêndio e Emergências. **Diário Oficial [da] União**. Brasília, DF, ano 157, v. 140, Seção 1, p. 31-46, 23 jul. 2019.

National Fire Protection Association. **NFPA 502: Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways**. Quincy, 2020. 76 p.

Ocupação na zona leste de São Paulo se organiza para resistir a reintegração de posse. Rede Brasil Atual (Portal RBA), São Paulo, *online*, 14 jan. 2020. Disponível em: <https://bit.ly/31svWTJ>. Acesso em: 24 mar. 2021.

PAULA, F. L. Novo incêndio na favela do Moinho, em São Paulo, atinge 80 barracos; uma pessoa morreu. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 17 set. 2012. Cotidiano, *online*. Disponível em: <https://bit.ly/3u4iqSD>. Acesso em: 26 mar. 2021.

Photos: When Atlanta's I-85 caught fire, collapsed on March 30, 2017. **AJC (The Atlanta Journal-Constitution)**, Atlanta (GA, USA), 30 March 2017. News, *online*. Disponível em: <https://bit.ly/3dfPpfX>. Acesso em: 28 mar. 2021.

Prefeitura de SP quer dar novo uso às áreas debaixo de viadutos: A gestão Covas (PSDB) selecionou 55 baixos de viadutos e sete de pontes com potencial para uso. Em uma segunda fase, o número pode chegar a 120. **R7**, São Paulo, *online*, 3 nov. 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3fqU69l>. Acesso em: 21 mar. 2021.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Secretaria Especial de Comunicação. Balanço de manutenção de pontes e viadutos é apresentado na Prefeitura. **Secretaria de Infraestrutura e Obras**, São Paulo, 13 nov. 2019. Notícias, *online*. Disponível em: <https://bit.ly/3u60uXW>. Acesso em: 26 mar. 2021.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento (Coord.). **Baixos de viadutos**: Nota Técnica. São Paulo: Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento da Prefeitura do Município de São Paulo, Out. 2016. 20 p. Disponível em: <https://cutt.ly/vx3RnOd>. Acesso em: 21 mar. 2021.

SÃO PAULO (Estado). Decreto Nº 63.911, de 10 de Dezembro de 2018. Institui o Regulamento de Segurança Contra Incêndios das edificações e áreas de risco no Estado de São Paulo e dá providências correlatas. **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, Poder Executivo, São Paulo, SP, 11 Dez. 2018. Seção 1, p. 01-09. Disponível em: <https://bit.ly/2KPDmIJ>. Acesso em: 27 Abr. 2020.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Estado dos Negócios da Segurança Pública. Polícia Militar. Corpo de Bombeiros. **Instrução Técnica n. 08/2019**: Segurança estrutural contra incêndio. São Paulo, 2011. 11 p. Disponível em: <https://bit.ly/3sARZ6G>. Acesso em: 29 Mar. 2020.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 13.426, de 5 de setembro de 2002. Dispõe sobre a outorga, pelo Poder Executivo, mediante licitação das áreas localizadas nos baixos dos viadutos e pontes, através de concessão onerosa para exploração por particulares, e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Município [de] São Paulo**, São Paulo, SP, ano 47, n. 169, p. 1, 6 set. 2002.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 16.703, de 4 de outubro de 2017. Disciplina as concessões e permissões de serviços, obras e bens públicos que serão realizadas no âmbito do Plano Municipal de Desestatização – PMD; introduz alterações na Lei nº 16.211, de 27 de maio de 2015. **Diário Oficial [do] Município [de] São Paulo**, São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, ano 62, n. 189, p. 1, 5 Out. 2017.

SINDICATO DA ARQUITETURA E DA ENGENHARIA (SINAENCO). Obras de Arte Especiais (Pontes e Viadutos) da cidade de São Paulo: Estudo. São Paulo: SINAENCO Regional SP, 2017. 346 p. Disponível em: <https://sinaenco.com.br/PVV-SP-2017-1.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2021.

SOLLERO, M. B. S.; SANTOS, R. T.; TRISTÃO, G. A. Avaliação das condições estruturais do Viaduto Santo Amaro. **Relatório n. RTS 9.1.8.006.0056-001/16**. São Paulo: CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S. A., 2016. 41 p. Disponível em: <https://bit.ly/2ylg4Yy>. Acesso em: 28 de março de 2021.

Viaduto Alcântara Machado fica interditado pelo 3º fim de semana seguido para realização de obras. **G1 (Portal)**, São Paulo, 7 fev. 2020. São Paulo, *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/Ix3WMD3>. Acesso em: 21 mar. 2021.

Viaduto Alcântara Machado segue interditado em SP, veja novas rotas. **R7**, São Paulo, 13 set. 2019. São Paulo, *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/px3WXzt>. Acesso em: 21 mar. 2021.

Viaduto Eng. Orlando Murgel será liberado hoje ao meio-dia. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 17 mar. 2013. Cotidiano, *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/0x3WJsZ>. Acesso em: 26 mar. 2021.

Viaduto interditado na zona leste de SP muda rotas de ônibus; veja linhas alteradas. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 13 set. 2019. Cotidiano, *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/nx3WSIM>. Acesso em: 26 mar. 2021.

VIEIRA, S. R. S. S.; ISHIKAWA, P. H. Avaliação dos danos provocados por incêndio em Estruturas de Concreto: Estudo de Caso. In: 42º Congresso Brasileiro do Concreto. **Anais...**, Fortaleza, 2000. São Paulo: IBRACON, 2000. 11 p.

ZYLBERKAN, M. Doria quer remover favela fonte de drogas para cracolândia de São Paulo. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 4 jul. 2017. Cotidiano, *online*. Disponível em: <https://cutt.ly/5x3WT9S>. Acesso em: 26 mar. 2021.