

Revista **InSIET**

São Paulo, Volume 6 | 11 de Dezembro de 2025 | ISSN: 2447-892X

**Resenha: Mobilidade
Precária na Metrópole de
São Paulo**

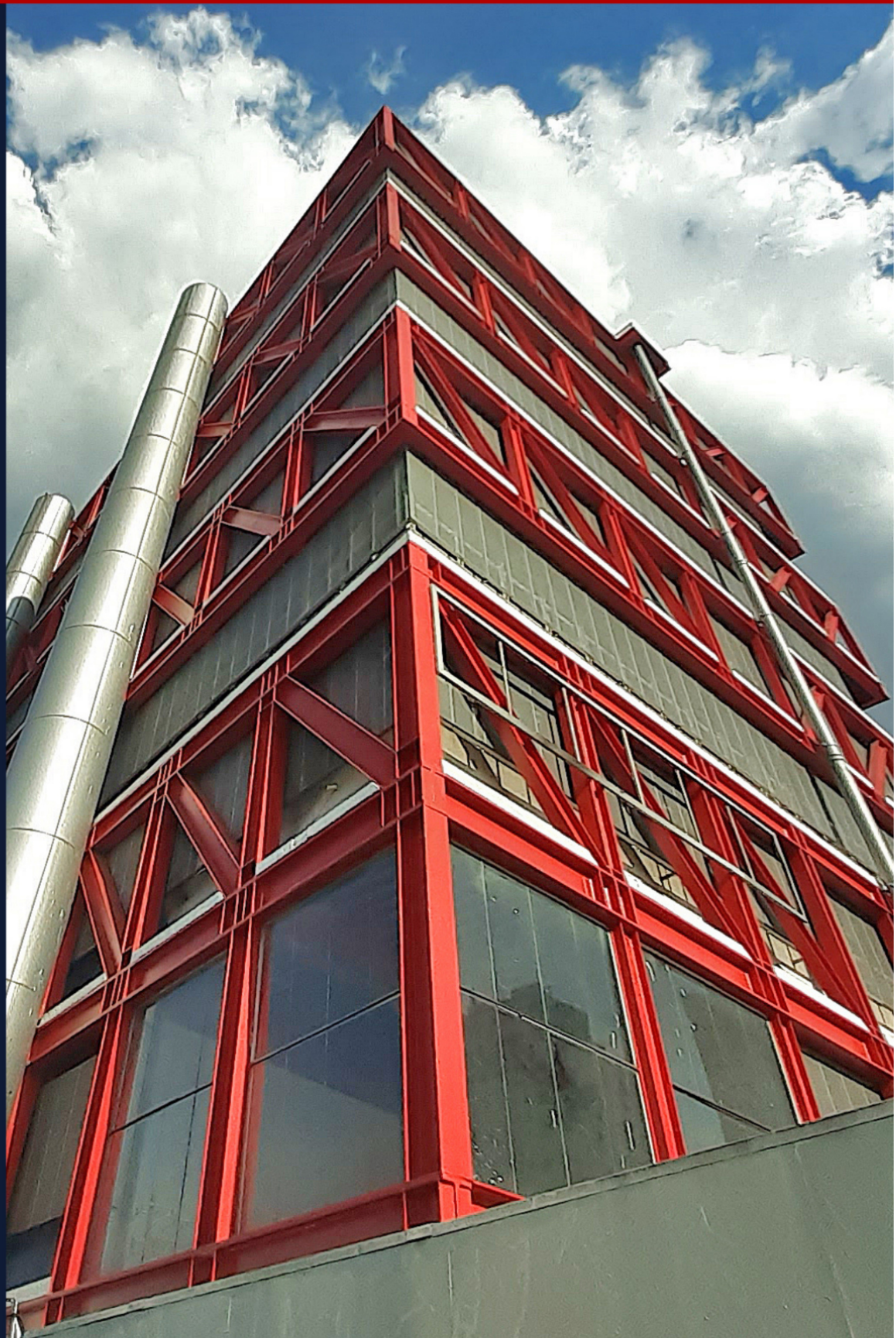
**Técnicas de Remediação
em áreas Contaminadas no
Estado de São Paulo: uma
revisão sistemática
bibliográfica**

***Design* de Superfície
Inclusivo: *Embossing* para
acessibilidade tátil**

**Comparativo entre telha
cerâmica e telha isotérmica
– análise de parâmetros
para conforto térmico**

**Estudo Comparativo de
Pavimento Permeável com
Análise Experimental**

**Influência da temperatura
na hidratação e no
desempenho mecânico
para concreto de ultra-alto
desempenho (UHPC)**



Editorial

Pertencemos a uma instituição pública paulista de educação profissional e tecnológica, pioneira na formação de tecnólogos. Criado em 1969, o CEETEPS (Centro Educacional e Tecnológico Profissional Paula Souza) funciona como autarquia do estado de São Paulo.

Desde 2011, a equipe da Fatec Tatuapé atua como precursora, oferecendo alguns cursos que somente nela são ministrados, e também mantendo algumas iniciativas próprias, criadas internamente. Essas ações foram implementadas ao longo dos anos para concretizar o projeto de tornar a unidade um local de estudos e um cenário de educação profissional tecnológica de qualidade.

Os projetos da Fatec Tatuapé sempre foram construídos coletivamente pela equipe, tendo como foco principal alunos e professores. Ter uma revista própria faz parte desse cenário delineado como propulsor de boas práticas e divulgador dos conhecimentos internamente desenvolvidos para um público maior a ser alcançado externamente. A revista permite registrar e expandir inquietações em relação aos desejos e realidades.

Não existe Ciência nem Tecnologia sem Educação. Assim, torna-se imprescindível olhar para o campo da educação profissional tecnológica com a lupa do conhecimento e o vigor da inovação. A nossa atuação no campo se faz necessária e intransferível. Apesar de nestes últimos anos ter havido uma expansão física no número de Fatecs pelo interior do Estado de São Paulo, e de atualmente existirem melhores condições de ensino e pesquisa, o cerne da discussão sobre qual tecnologia e sobre a identidade do tecnólogo continua. É exatamente nesse ponto que se constituiu o arcabouço da nossa publicação.

O registro da produção intelectual e dos avanços do conhecimento se inserem nas revistas ligadas à discussão da formação profissional e tecnológica que estão presentes nos campi das Fatecs e também tem sido utilizado como fonte de avaliação da produção científica de professores-pesquisadores que atuam disseminando seus conhecimentos via trabalhos elaborados com alunos ou individualmente, evidenciando a atuação do tecnólogo no mundo do trabalho.

A revista InSIET traz textos de pesquisas realizadas na Fatec Tatuapé. Seu êxito e sua organização mostram o empenho coletivo para a construção dessa publicação.

Finalizo a apresentação com o desejo de boa leitura e que esse estímulo traga outros professores-pesquisadores e alunos para se engajarem nos projetos ousados da Fatec Tatuapé.

“A educação é um ato de amor, por isso, um ato de coragem. Não pode temer o debate. A análise da realidade. Não pode fugir à discussão criadora, sob pena de ser uma farsa” (Paulo Freire, Educação como prática da liberdade, 1967, p. 97).

Ivanete Bellucci Pires de Almeida

Equipe Editorial

Editores-Chefe

Andrea Ferreira Cavalcante Caputo
Gilder Nader

Editores de Seção

Edegar Maurício Keretch
Fabio Conte Correia
Flavia Ulian
Melina Kayoko Itokazu Hara
Vanessa Montoro Taborianski

Comitê Externo

Sasquia Hizuru Obata
Ivanete Bellucci Pires de Almeida

Comitê Interno

Marcelo Marçula
Vinícius Roberto de Sylos Cassimiro
Paulo Henrique Ogata
Deise do Nascimento Dias

Editores

Ana Caroline Rosa Borges
Bárbara Daniella Cavalcante Costa
Gabrielly Gonçalves Tavares da Silva
Marcelo de Paula Ferreira
Mayara Aparecida de Almeida Lopes

Revisão Final de Texto

Andrea Ferreira Cavalcante Caputo

Assistente Editorial

Edney Eboli dos Santos
Leonardo Keidy Nishimoto Itiki

Sumário

2 Editorial

6 Apresentação

Resenha

9 Mobilidade Precária na Metrópole de São Paulo

Artigos Técnico-Científicos

19 Técnicas de Remediação em áreas Contaminadas no Estado de São Paulo: uma revisão sistemática bibliográfica

33 *Design* de Superfície Inclusivo: *Embossing* para acessibilidade tátil

49 Comparativo entre telha cerâmica e telha isotérmica – análise de parâmetros para conforto térmico

63 Estudo Comparativo de Pavimento Permeável com Análise Experimental

81 Influência da temperatura na hidratação e no desempenho mecânico para concreto de ultra-alto desempenho (UHPC)

Apresentação

A Faculdade de Tecnologia Victor Civita – FATEC Tatuapé tem a satisfação de apresentar a sétima edição da Revista InSIET, marcando a retomada de suas publicações científicas após um hiato entre os anos de 2017 e 2025. Esse retorno simboliza não apenas a continuidade de um projeto acadêmico consolidado, mas também o início de uma nova fase, pautada por maior rigor científico, atualização editorial e uma diagramação moderna e funcional.

Desde sua criação, a InSIET tem se destacado como um espaço de divulgação de pesquisas e projetos de desenvolvimento tecnológico, fortalecendo a integração entre ensino, pesquisa e extensão. A revista abrange as áreas de Construção Civil, Transporte Terrestre, *Design* de Produto e Gestão Empresarial e destina-se a profissionais, docentes e discentes comprometidos com a inovação e a aplicação prática do conhecimento.

Antes, no entanto, de tratar do conteúdo desta publicação, faz-se necessário relembrar 2 saudosos mestres, pesquisadores e sobretudo amigos da Fatec Tatuapé, que contribuíram imensamente para a concretização dessa revista e, sobretudo, para o desenvolvimento da nossa instituição e o conhecimento na área da construção civil: os professores Adão Marques Batista e Odair de Oliveira Rosa. O professor Adão nos deixou recentemente, em abril de 2025. Já o professor Odair faleceu em setembro de 2022. O *gap* em nossas publicações permitiu essa homenagem apenas agora.

Com formação que incluía um pós-doutorado, o professor Adão ingressou na Fatec Tatuapé em 2013. Aqui ele lecionou disciplinas relacionadas com Estruturas e Resistência dos Materiais, orientou mais de 100 Trabalhos de Graduação e atuou em vários projetos da unidade, inclusive como revisor e membro do corpo editorial da nossa revista InSiet. Além disso, o professor Adão nos ensinava que é possível sermos sempre melhores, sobretudo quando nos permitia participar dos projetos sociais que realizava de longa data.

O professor Odair Rosa ingressou na Fatec Tatuapé em 2014. Tecnólogo e Engenheiro Civil, lecionou disciplinas como Mecânica dos Solos e Pavimentação. Também colaborou com a pesquisa na área, sendo responsável pela orientação de inúmeros Trabalhos de Graduação. Muito conhecido por sua forma gentil e acolhedora de tratar com todos, ele incentivava seus alunos, a quem já chamava de colegas, a estudarem sempre mais, buscando formações adicionais que pudessem enriquecer o currículo e melhorar a atuação profissional.

Seus exemplos e dedicação serão sempre inspiração e desafio para todos nós. Toda a equipe da Revista InSIET e, certamente, nossos leitores sentimo-nos honrados por tê-los em nosso percurso. Fica a saudade e, sempre, o nosso Muito Obrigado!

Sobre a revista

Esta edição está organizada em duas diferentes seções: Resenha e Artigos Científico-Tecnológicos. Os textos publicados refletem o caráter interdisciplinar e o compromisso da FATEC Tatuapé com a busca de soluções sustentáveis e socialmente relevantes.

A primeira seção da revista traz a resenha intitulada Mobilidade Precária na metrópole de São Paulo. Sua autora, a professora Flávia Ulian, nos apresenta uma visão geral da obra que é resultado dos estudos do professor Ricardo Barbosa da Silva, recuperando os principais conceitos e reforçando a importância e urgência da atenção à mobilidade no cenário atual.

Passando à segunda seção, o primeiro artigo científico - Técnicas de Remediação em áreas contaminadas no estado de São Paulo: uma revisão sistemática bibliográfica - relaciona diferentes técnicas para o gerenciamento e proteção da qualidade do solo em áreas contaminadas, identificando as mais utilizadas e seus resultados.

O segundo artigo científico, de nome Design de Superfície Inclusivo: embossing para acessibilidade tátil, demonstra a aplicação da técnica em questão a uma proposta de comunicação para embalagens de chocolates, de modo a atender a uma demanda de inclusão e acesso.

O artigo seguinte, Comparativo entre telha cerâmica e telha isotérmica: análise de parâmetros para conforto térmico, apresenta um estudo acerca da temperatura interna em residências, evidenciando resultados e a viabilidade da telha isotérmica.

O quarto artigo desta publicação é intitulado Estudo Comparativo de pavimento permeável com análise experimental. Ele trata da sustentabilidade urbana no que diz respeito à permeabilidade para a prevenção de acúmulo de águas e a ocorrência de enchentes.

Por fim, o artigo Influência da temperatura na hidratação e no desempenho mecânico para concreto de ultra-alto desempenho (UHPC) relata um experimento que contribui para a compreensão das mencionadas características no concreto UHPC.

A retomada da InSIET reafirma o propósito da FATEC Tatuapé de promover a excelência acadêmica, a inovação tecnológica e a formação de profissionais capazes de contribuir de forma efetiva para

o desenvolvimento da sociedade. Com novo formato e renovada identidade visual, esta edição representa o reencontro da instituição com sua vocação científica e tecnológica.

Esperamos que este número atenda às expectativas, contribua para o aprendizado contínuo e fomente novas propostas de investigação. Boa leitura!

Gilder Nader e Andrea Caputo

Resenha

Mobilidade Precária na Metrópole de São Paulo

Flávia Ulian (1)

A obra a ser analisada nesta resenha é resultado da tese de doutorado do autor Ricardo Barbosa da Silva, intitulada “Mobilidade precária na metrópole: problemas socioespaciais dos transportes no cotidiano de São Paulo - da exceção à regra”, orientada pela Profa. Dra. Amália Inês Geraiges de Lemos e defendida, em 2014, no Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo (USP). Em 2015, a tese foi premiada com a Menção Honrosa no “4o. Prêmio Tese Destaque USP”. A transposição da tese para o livro “Mobilidade Precária na Metrópole de São Paulo” deu-se em 2016, quando a primeira edição foi publicada pela Editora Annablume, de São Paulo/SP, e o autor era professor das disciplinas Planejamento Urbano e Mobilidade e Sustentabilidade no Meio Urbano, na Faculdade de Tecnologia de São Paulo (Fatec), unidades Barueri e Tatuapé. Houve uma edição e uma reimpressão do livro.

O panorama inicial desta obra a insere em um dos mais prementes debates do mundo contemporâneo: a mobilidade urbana, tema este que sustenta um dos tripés do curso de Tecnologia em Transporte Terrestre da Fatec. No livro analisam-se, a partir do processo histórico das transformações socioespaciais da cidade de São Paulo, a mobilidade urbana e como circula a população dessa grande metrópole. Delineia-se o que o autor chama de “mobilidade precária” em um espaço de urbanização desigual. Nesse sentido, o livro expõe os conflitos velados numa cidade cujos governantes vêm privilegiando políticas para o uso do automóvel em detrimento do transporte público coletivo, o que resulta em crescentes congestionamentos, problemas ambientais, crescimento dos acidentes de trânsito e perda de tempo nos deslocamentos.

A obra em tela está organizada em três partes. A primeira, denominada “Mobilidade e Metrópole”, contém dois capítulos voltados

(1) flavia.ulian@fatec.sp.gov.br

à abordagem conceitual e histórica. A segunda parte é intitulada “Mobilidade e Transportes” e dividida em três capítulos que trazem o âmago da discussão do autor frente à mobilidade como recurso, como constrangimento e como vulnerabilidade. A obra é finalizada com a terceira parte, apresentada em dois capítulos que tratam da gestão dessa mobilidade precária e o direito à mobilidade. O total da obra distribui-se em 362 páginas, incluindo, além dos capítulos acima, Prefácio, Apresentação, Introdução, Considerações Finais e Referências.

A principal tese defendida pelo autor está calcada no conceito de mobilidade como recurso e que este se apresenta desigualmente distribuído entre a população da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Essa distinção leva a maioria das pessoas a um constante constrangimento pelo tempo perdido no trânsito e pelas péssimas condições dos transportes coletivos, o que incrementa sua condição de vulnerabilidade a acidentes de trânsito e aos poluentes atmosféricos. Assim, evidencia-se a mobilidade precária de São Paulo, título da obra analisada.

O autor desenvolve sua ideia de forma clara, trazendo na Parte Um os principais conceitos da área da Mobilidade Urbana. A mobilidade aponta para um conceito em movimento, “o conjunto de deslocamentos de pessoas, segundo suas mais diversas capacidades individuais, relacionadas a certos atributos sociais”, sendo, portanto, “restringida ou apoiada dependendo de certos fatores socioespaciais” (Silva, 2016, p. 31-32). Na visão do autor, há uma dialética inter-relacionada entre a sociedade, os transportes e o território, esse último sendo facilitador ou não dos deslocamentos, carregando em si a localização, a acessibilidade, a disponibilidade de infraestrutura, entre outros.

A acessibilidade permite

compreender a mobilidade realizada ou não pelas pessoas de um determinado lugar, em razão de sua oferta de infraestrutura de transportes e das condições socioeconômicas que agenciam a facilidade ou não dos deslocamentos das pessoas aos espaços desejados (Silva, 2016, p. 37).

Tendo demonstrado que a mobilidade das pessoas decorre de sua acessibilidade e que elas não estão distribuídas uniformemente entre as pessoas, Ricardo Silva fundamenta seu conceito de mobilidade precária. Ele explica que o termo “precário” atribui uma condição de escassez e que comumente é utilizado junto aos termos moradia e trabalho (moradia precária, trabalho precário). No entanto, a desigualdade da acessibilidade entre as pessoas, as miseráveis

condições de conforto e pontualidade do transporte coletivo e o tempo perdido nos congestionamentos possibilitam o uso do atributo 'precária' à mobilidade, envolvendo-a em um problema urbano de suma importância a ser debatido em nível científico nas pesquisas contemporâneas.

Segundo Silva (2016, p. 40), esse "processo de mobilidade precária em São Paulo remonta às raízes históricas de sua formação socioterritorial (...) ainda na primeira metade do século XX.", quando a economia da metrópole paulistana passou a ser cada vez mais relacionada à indústria do que ao café. É nesse período que a fisionomia da cidade adota padrões de desenvolvimento urbano voltados ao embelezamento do centro, contando com justificativas higienistas e incorporando a racionalidade da eficiência industrial. O autor demonstra, através dos números de habitantes em rápido crescimento, o quanto a cidade foi alterada com a economia industrial, culminando em um marco: a formulação do "Plano de Avenidas", empreendido por Francisco Prestes Maia na década de 1930. Tal plano, "baseado na construção e remodelação de vias expressas radiais do centro para a periferia", foi um dos elementos do

complexo processo que ajuda a explicar o crescimento desmesurado da metrópole (...) induzindo e possibilitando a substituição dos transportes sobre trilhos das ferrovias e bondes elétricos para o transporte sobre pneus dos ônibus (Silva, 2016, p. 45) e dos automóveis.

O texto do autor flui agradavelmente, fundamentado nos mais diversos autores de várias formações, entre eles arquitetos e geógrafos, nacionais e estrangeiros, além de fotografias e mapas, detalhando essa fase da história brasileira e particularmente de São Paulo. Compreende-se, através dessa parte do livro, que as origens de tudo que os leitores vivem nos seus deslocamentos cotidianos foi articulado nesse período: políticas de mobilidade que marcaram profundamente aqueles com e sem acesso ao transporte individual; configuração de uma cidade seletiva, diferenciando aqueles que residem próximos ou distantes dos empregos e das áreas bem servidas de infraestrutura de lazer, cultura, saúde, educação; em suma, foi o embrião da mobilidade precária em São Paulo.

A Parte Dois compreende o que entendemos como o cerne da obra, pois é o momento em que Silva fundamenta e explica a mobilidade precária como sendo um recurso, um constrangimento e parâmetro para a situação de vulnerabilidade social.

A mobilidade como recurso é fundamentada na finalidade de que ela se torna um bem comercializável, notadamente a partir da ideologia do transporte individual, que propaga ser o automóvel (e a

motocicleta) o meio que se tem para realizar deslocamentos no meio urbano. Esses meios de transporte são os recursos disponíveis para se fazerem as viagens, e também se tornam fontes de recursos financeiros para diversos tipos de indústria ligadas às montadoras de automóveis e motocicletas. Ao invés de a resolução dos problemas individuais de mobilidade urbana serem assumidos pelo Estado através da disponibilização de uma boa rede de meios de transporte público, o autor demonstra o quanto isso ficou à mercê da própria sociedade, ou seja, o Estado exime-se dessa obrigação, delegando aos próprios cidadãos a resolução de seus problemas de transporte através da aquisição de meios individuais. A partir desse fundamento, o autor depreende que o transporte coletivo se encontra, portanto, “no fim da linha”. Até porque historicamente foram muito mais uma mercadoria (igualmente um recurso) e muito menos vinculados a interesses coletivos. O texto é rico e oferece muitos pormenores que valem a pena um estudo acurado, diretamente na leitura da obra, e não é preciso ter ampla bagagem prévia de conhecimento para entender o conteúdo.

Ainda nesse capítulo, Ricardo Silva explica e caracteriza os sistemas de transporte coletivo da metrópole paulistana, tanto o sistema sobre ônibus como o sobre trilhos, sua gênese, suas linhas e seus problemas, culminando com a fluidez seletiva proporcionada pelo uso do automóvel e o fenômeno da “carrodependência” como uma prática socioespacial componente da paisagem de São Paulo e a partir da qual se produz o próprio espaço. Baseando-se no conceito de espaço de Milton Santos (cabe lembrar que, nesse conceito, a sociedade compõe o espaço), verifica-se que os hábitos de moradia, os costumes de compras, as formas como são realizados os deslocamentos, como é experienciado o tempo e o espaço são igualmente moldados através do uso do automóvel.

Ricardo Silva analisa com detalhes os motivos e a divisão modal dos deslocamentos realizados na RMSP, o que o possibilita compreender os deslocamentos diários da população, bem como sua renda e outras características pessoais, como idade e gênero, e ainda como, onde e por que os deslocamentos são produzidos. Ele usa os dados da Pesquisa de Mobilidade da RMSP produzida pela Cia. do Metropolitano de São Paulo em 2012, quando a frota de automóveis era de 4,2 milhões e a taxa de motorização era de 212 automóveis particulares por 1.000 habitantes. Comparando os dados com a primeira Pesquisa Origem e Destino, realizada pela mesma companhia em 1967, o autor registra o crescimento de 313% do número de viagens motorizadas realizadas, que chegaram a 29,7 milhões em 2012, e observa que essas viagens diárias aumentaram

cerca de 40% entre 1967 e 2012. A frota de automóveis cresceu, neste período, 761% (mais de quatro vezes o crescimento da população da RMSP) e a taxa de motorização, 203%. Quanto às viagens motorizadas em 2012, na média, 54% foram realizadas no modo coletivo e 46% no modo individual. Ele analisa igualmente os motivos de realização das viagens, bem como por quais modos elas são majoritariamente feitas. O motivo Trabalho concentra cerca de metade dos deslocamentos efetuados, sendo que 79% deles são realizados por modo motorizado, dentre os quais 45% se dão de modo coletivo e 34% de modo individual. O motivo Educação abrange 36% dos deslocamentos, metade deles sendo realizados de modo motorizado e metade de modo não motorizado. Novamente, no modo motorizado prevalece o modo coletivo, mas é expressivo o montante de deslocamentos por motivo educação realizados no modo individual. Os demais motivos mais importantes analisados, Compras, Saúde e Lazer, com percentuais de 5%, 4% e 4% respectivamente, são majoritariamente realizados com viagens de modo motorizado e, com exceção do motivo saúde, na maior parte por modo individual.

Silva examina outros dados da Pesquisa de Mobilidade de 2012, concluindo que houve queda no uso do transporte coletivo nas faixas de renda de até 2 salários mínimos (S.M.), de 2 a 4 S.M. e de 4 a 8 S.M. Já nas faixas de 8 a 15 S.M. e mais de 15 S.M., houve aumento no uso do transporte coletivo e diminuição do uso do transporte individual. Em geral, a faixa de renda onde houve maior queda no uso do transporte coletivo foi a que ganha entre 4 e 8 S.M. (3,6%), e também maior aumento no uso do transporte individual. O autor complementa que o aumento do uso do transporte coletivo pelas classes de renda mais alta fica praticamente anulado pela ampliação do uso do modo individual nas faixas de renda mais baixas. Ele interpreta essa diminuição do uso do transporte coletivo pelo maior tempo médio de deslocamento deste modal, que era, em 2012, de 67 minutos na RMSP, em comparação ao modo individual motorizado, com tempo médio de deslocamento de 31 minutos.

Acrescentando mais alguns dados à sua linha de pensamento, Silva observa ainda que, mesmo com aumento do número de viagens por modo individual, em termos percentuais ele foi inferior ao aumento do uso do modo coletivo entre 1997 e 2012. Nesse momento, ele introduz o conceito de Mobilidade Rara, em que o aumento dos índices de lentidão e diminuição das velocidades médias do modo motorizado como um todo leva ao constrangimento das pessoas nos seus deslocamentos cotidianos. Cruzando os modais utilizados na mobilidade urbana com o fator renda, fica muito claro que “a acessibilidade não se apresenta como um direito generalizado” na

RMSP (Silva, 2016, p. 183). Então, envereda sua análise de forma a descrever os infundáveis congestionamentos metropolitanos: “Uma massa humana, encouraçada por um invólucro metálico, submete-se a horas a fio num cotidiano marcado pela tensão, estresse e competição.” (Silva, 2016, p. 191). Nesse contexto, o autor analisa o congestionamento e sua espacialização na cidade de São Paulo, ilustrando com muitos mapas de modo a proporcionar uma boa visão dos maiores corredores de trânsito da capital, corroborando para a problematização do histórico privilégio dado ao automóvel nas políticas de circulação e transportes da cidade, e, poderíamos ampliar o escopo, do país.

São apresentados resultados da Pesquisa Imagem realizada pela Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) em 2012 e, no que tange às queixas do transporte coletivo, a principal reclamação era em relação à superlotação, embora Ricardo também proceda levantando que, em grande parte, os problemas são ampliados em razão do tempo de deslocamento que se gasta no transporte coletivo. O conteúdo é enriquecido com entrevistas tanto de usuários de transporte público quanto de automóveis e motocicletas, mostrando sua preocupação em analisar a realidade para além dos dados estatísticos. Ele conclui que o uso do modo individual é ligado à comodidade do automóvel, apesar do custo alto, e à agilidade e baixo custo econômico da motocicleta. Desse modo, a precarização da mobilidade tende a generalizar-se, constrangendo as pessoas em tempo, dinheiro e saúde, parecendo afetar de alguma forma a totalidade da sociedade que vive em São Paulo, tanto no transporte individual como no coletivo, “tornando o problema da mobilidade de exceção a regra” (Silva, 2016, p. 232).

O problema da mobilidade visto como uma regra tornou-se mais agudo e trouxe uma série de angústias às pessoas. Esse recrudescimento veio com o “estabelecimento do modelo autoviário, através da popularização do automóvel e a ampliação da utilização das motocicletas” (Silva, 2016, p. 233). A vida urbana tornou-se permeada pelo automóvel. Silva remete a obras de literatura, entre elas os contos “A Auto-Estrada do Sul”, de Júlio Cortázar, e “Amor”, de Clarice Lispector, bem como o filme “Crash - No limite: Até que ponto você se conhece?”, do diretor Paul Haggis, para discorrer sobre o tema. Filosoficamente ampara-se em Heidegger e Sartre, entre outros autores, e traz à consciência que a sociedade da metrópole paulistana contemporânea está de tal forma envolvida no problema da mobilidade urbana, e por ela constrangida, que se tornou vulnerável a essa atribulação. A fragilidade decorrente desse infortúnio diário a que todos são submetidos coloca uma peculiaridade a essa sociedade.

Soma-se à angústia, capaz de contribuir com doenças mentais, os elevados riscos de acidentes no trânsito. No período analisado pelo autor há dados bastante precisos sobre essa realidade, apresentados em forma de texto, gráficos e mapas. Efetivamente, “os acidentes de transportes na RMSP tornaram-se um dos principais motivos das mortes por causas externas” (Silva, 2016, p. 255). Soma-se a isso o descomunal problema ambiental do espaço urbano, completamente adaptado a deslocamentos por meio motorizado, especialmente o motorizado individual. Rios foram canalizados, áreas de lazer foram suprimidas e o ar limpo tornou-se rarefeito. Tudo ocorreu com um altíssimo custo social. Silva finaliza a Parte Dois do livro com a seguinte frase, que se traduz em uma proposta de ação:

Portanto, faz-se necessário repensar uma mobilidade urbana sustentável baseada num modelo urbano multifuncional, privilegiando o transporte coletivo e não-motorizado, valorizando o meio ambiente e colocando a vida humana no seu devido patamar (Silva, 2016, p. 275).

Na terceira e última parte do livro, o autor analisa que a gestão da mobilidade precária se dá a partir de políticas que exprimem as relações sociais e que também as regem. Há relações de poder na busca do controle a fim de estabelecer normas de uso do espaço, regras de acesso, de circulação e mobilidade. Fundamentando-se, entre outros, em T. Cresswell e D. Massey, Silva argumenta que a mobilidade envolve uma política hierárquica de inclusão e exclusão que, mais do que respaldar a desigualdade na distribuição da mobilidade, estabelece o controle de alguns grupos e o enfraquecimento de outros. Assim, a gestão da mobilidade na metrópole paulistana reforça a mobilidade diferencial, garantindo a prevalência de certos grupos sociais na medida em que prioriza o transporte por automóveis, ampliando a mobilidade precária. O automóvel, mais do que um meio de transporte, é um símbolo de riqueza e de poder. Já o não possuí-lo coloca o indivíduo em relação de subalternidade.

As lutas e resistências pelo transporte coletivo também são pauta, bem como a proposição para a construção de uma outra mobilidade que transponha o que está posto, ou seja, que se transmute de recurso para direito. Frisando que o tema da mobilidade urbana na metrópole de São Paulo assumiu um destaque maior na contemporaneidade, a “virada da mobilidade” se faz mais necessária do que nunca. O espraiamento cada vez maior do tecido urbano e o modelo de residência da população mais pobre, cada vez mais distante dos serviços e infraestruturas fundamentais no território, a obriga ao gasto de tempo em longos deslocamentos diários, bem como esse modelo

baseado na circulação por automóveis exige do poder estatal construção constante de obras de infraestrutura viária.

A relação tríade, sociedade, transporte e território, vai determinar as características da mobilidade das pessoas quer na sua abrangência, tempo despendido e condições de realizações, como também, ajuda a refletir acerca da mobilidade baseada em um novo paradigma da sustentabilidade, que revela sua eficácia pelos baixos custos (econômico, temporais, ambientais e sociais) e alto nível de acessibilidade (Silva, 2016, p. 306).

Portanto, a adversidade da sustentabilidade não pode ser superada sem a resolução do infortúnio da mobilidade.

O autor recorda diversas manifestações sociais ocorridas no decorrer do século XX e XXI que expressaram insatisfações relacionadas à questão da mobilidade, principalmente aumento das tarifas acima dos índices inflacionários sem que o transporte coletivo recebesse melhorias na sua qualidade. As últimas manifestações antes da publicação do livro foram as ocorridas em junho de 2013 e não foram apenas por causa dos “vinte centavos” (tarifas subiriam de R\$ 3,00 para R\$ 3,20 nos ônibus e metrô de São Paulo). O movimento de estudantes, até então incógnito pelo público em geral, o Movimento Passe-Livre (MPL), cuja principal bandeira é a tarifa zero, convocava a população a manifestar-se contrariamente a esse aumento.

Após relatar minuciosamente esses acontecimentos Silva encaminha o capítulo e já pretendendo traçar conclusões do livro, para uma ponderação sobre o direito à mobilidade. O processo de massificação dos automóveis no Brasil foi impulsionado na década de 1960 e a classe média foi seu principal agente, que entendeu a mobilidade enquanto um recurso que precisava possuir. Ao adquirir o automóvel, seu proprietário alcançaria um nível social superior ao do usuário do transporte público. Citando Milton Santos,

a classe média nunca exigiu seus direitos, mas antes de tudo busca manter seus privilégios (Santos, 2003) e, indubitavelmente, por muito tempo, um desses privilégios era circular com seus automóveis tranquilamente e, por que não dizer, impedir o direito à mobilidade à maioria nas ruas e avenidas de São Paulo (Silva, 2016, p. 327).

Ricardo Barbosa da Silva conclui que, a partir da década de 1990, os usuários do transporte coletivo passaram a ver o transporte individual como sua salvação, e, iludidos com o discurso de incentivo à compra de automóveis populares e facilidades para comprar uma motocicleta, levaram o problema da mobilidade cotidiana para outra dimensão. A mobilidade precária tornou-se regra e envolveu o conjunto da sociedade, tanto nas questões ligadas ao congestionamento e tempo perdido nos deslocamentos quanto aos

acidentes e questões ambientais deles decorrentes. O enfrentamento pelo direito à mobilidade perpassa a acessibilidade generalizada à cidade. A Lei da Política Nacional de Mobilidade Urbana (PNMU, no. 12.587/2012) é o resultado de uma luta histórica, mas por si só não garante o nascimento de uma outra mobilidade possível nas cidades brasileiras, mas é mais um instrumento na conquista da mobilidade como direito.

Com sua obra, o autor contribui com uma gama de reflexões possíveis acerca do tema. Entende-se como muito necessária a formação de profissionais que consigam compreender profundamente o cenário apresentado por Silva para gerir e operar o trânsito da metrópole. A vida das pessoas depende disso. Para citar apenas um caso, tendo em vista o espaço que temos para redigir esta resenha, gostaria de problematizar que a norma que coloca o pedestre como o mais frágil no cuidado na gestão da mobilidade propriamente dita, na realidade o coloca numa posição de mediocridade. A vida vale muito pouco para quem anda. Seu espaço é exíguo, o tempo que deve esperar pela passagem dos velozes automóveis é infundável. Quando se trata de pessoas com deficiência, o tempo dessas pessoas é então o que menos vale. Apesar de a legislação de trânsito regulamentar que o pedestre está no topo da pirâmide, o automóvel e as motocicletas estão 'no topo da cadeia alimentar', interrompendo vidas, anulando relações humanas, extinguindo espaços de convivência. Mas parece que a sociedade se convenceu de que isso não importa. O essencial é circular de carro. Viver não é preciso (Vasconcellos, 1999).

O público-alvo a que se destina essa obra é toda a sociedade urbana, pois o conhecimento legado a partir de sua leitura leva à consciência de que há caminhos para a solução dos problemas de mobilidade das cidades, que as soluções estão ao alcance de todos e as atitudes envolvem a todos igualmente. Sem dúvida, o aprofundamento do tema junto às camadas específicas daqueles que fazem parte dos órgãos de planejamento urbano e de mobilidade é urgente e parece que nem eles têm real conhecimento dos conteúdos abordados pelo autor. O resultado da pesquisa de Ricardo Silva poderia melhorar a vida de tantas pessoas, sendo, nesse caso, obra de leitura obrigatória dos acadêmicos das áreas do conhecimento da Arquitetura e Urbanismo, das Engenharias e Tecnologias da Construção Civil e de Transportes, da Geografia Humana e tantas outras que envolvem o meio urbano.

Ricardo Barbosa da Silva é geógrafo, mestre e doutor em Geografia Humana pela USP, com pós-doutorado pela Universitat Autònoma de Barcelona. Foi professor da Fatec Barueri e Tatuapé

entre 2012 e 2017 e atualmente é professor do Instituto das Cidades, Campus Zona Leste (Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP) e do Programa de Pós-Graduação ProMuSSP (Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo - EACH-USP). É coordenador do grupo de pesquisa, ensino e extensão Rede Mobilidade Periferias (Redemopes).

Referências

SANTOS, M. **Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal**. Rio de Janeiro, São Paulo: Ed. Record, 2003.

SILVA, R. B. **Mobilidade precária na metrópole: problemas socioespaciais dos transportes no cotidiano de São Paulo - da exceção à regra**. São Paulo: Ed. Annablume, 2016.

VASCONCELLOS, E. A. **Circular é preciso, viver não é preciso**. São Paulo: Ed. Fapesp, 1999.

Técnicas de Remediação em áreas Contaminadas no Estado de São Paulo: uma revisão sistemática bibliográfica

Nattan Ribeiro Ferreira (1); Vanessa Montoro Taborianski (2);
Kédima Ferreira de Oliveira Matos (3)

Resumo

Podemos contar com avanços da administração pública em relação à promulgação de leis do estado de São Paulo e federais, com parâmetros acerca do controle da poluição oriunda de atividade industrial, gerenciamento e proteção da qualidade do solo e de áreas contaminadas, assim como a atuação de empresas que estão desenvolvendo ampla experiência e aprimoramento em técnicas de remediação ambiental com profissionais qualificados atuando dentro das normas vigentes. O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sistemática acerca das técnicas utilizadas para remediação de áreas contaminadas, as quais estão descritas nos trabalhos científicos disponíveis nas bases de dados eletrônicas. Foi possível verificar uma diversidade nas técnicas discutidas nos trabalhos selecionados, assim como, a importância de se utilizar uma técnica em particular e o uso combinado de diferentes técnicas, a fim de garantir o custo-benefício dentro dos parâmetros de recursos utilizados, tempo de atuação do processo de remediação ou degradação e o potencial de preservação do bioma presente no local a ser recuperado.

Palavras-chave: Solo contaminado; Remediação; Sustentabilidade; Remediação verde; Qualidade do solo.

1. Introdução

O Brasil está entre os países que mais se preocuparam nas últimas décadas com a questão da contaminação dos solos e águas, em especial, em virtude dos seus altos potenciais de prejuízo à saúde pública (CETESB, 2022). A promulgação da legislação nacional que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente oriunda das

(1) aluno - nattanribeiroferreira@hotmail.com; (2) professora - vanessa.taborianski@fatec.sp.gov.br; (3) professora - kedima.matos@fatec.sp.gov.br

atividades industriais ocorreu em 14 de agosto de 1975, através da lei nº 1.413 (Brasil, 1975) e da legislação do estado de São Paulo, em 31 de maio de 1976, através do decreto da lei nº 997 (São Paulo, 1976). A preocupação pública com danos ambientais foi traduzida em estratégias de mitigação e legislações somente a partir dos anos 70, como resultado da expansão da revolução industrial brasileira e seu exponencial crescimento ao redor do país (Santana, 2016).

São diversos os cenários em que se encontram resíduos e materiais que causam contaminações em altas quantidades por compostos perigosos, sem que esses resíduos sejam adequadamente encaminhados ou tratados, ou seja, sem a gestão e mitigação adequada dessas substâncias (Santana, 2016). O solo tem sido utilizado por gerações como receptor de substâncias resultantes da atividade humana (CETESB, 2022). Além disso, a acumulação dos poluentes despejados inadequadamente no solo gera altos impactos ambientais e na saúde da população até os dias atuais.

Ainda de acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), o solo atua como um depurador da contaminação e acaba bloqueando as impurezas, aglomerando-as e, por sua vez, alterando a qualidade do solo em virtude de poluentes atmosféricos, defensivos agrícolas e fertilizantes, resíduos sólidos industriais, urbanos, materiais tóxicos e radioativos (CETESB, 2022). Ademais, de acordo com dados levantados anteriormente pela Cetesb acerca das áreas contaminadas e reabilitadas no estado de São Paulo, havia por volta de 2.147 áreas cadastradas somente na capital, correspondendo em sua grande parte a postos de gasolina e áreas industriais (CETESB, 2017a).

Em 2009, o governo estadual paulista publicou a lei nº 13.577 que dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, abordando também aspectos acerca da definição de responsabilidades, da identificação e do cadastramento de áreas contaminadas e da remediação dessas áreas de forma a tornar seguros seus usos atual e futuro (São Paulo, 2009). Assim sendo, quando ultrapassados os valores definidos para risco aceitável à saúde humana e ao meio ambiente, a área será então considerada contaminada e passará a estar sujeita à remediação (Guimarães, 2018).

A ABNT NBR 15515-1 (ABNT, 2021) define remediação de áreas contaminadas como a aplicação de técnica ou conjunto de técnicas em uma área comprovadamente contaminada, visando à remoção, contenção ou redução das concentrações dos contaminantes presentes, de modo a assegurar a reabilitação da área com limites

aceitáveis de riscos à saúde humana e ao meio ambiente para o uso declarado. Segundo o portal EUGRIS (2022), a remediação pode ocorrer *in situ*, em que o tratamento do solo contaminado ocorre no próprio local; ou *ex situ*, a qual é realizada fora do local de contaminação e envolve a remoção do solo contaminado para a aplicação da(s) técnica(s) de remediação.

De acordo com Guimarães (2018), atualmente existem diversas técnicas de remediação de solos contaminados, tais como: lavagem, solidificação, biorremediação, fitorremediação e remoção. O tipo de tratamento de recuperação determinado no gerenciamento da remediação da contaminação ocorre a partir da variação dos contaminantes presentes na área. A princípio, deve-se realizar uma avaliação e investigação preliminar para compreender o histórico do território comprometido, identificar a quantidade dos contaminantes e realizar uma análise de riscos. Para a seleção das técnicas a serem empregadas, considera-se, segundo a CETESB (2017a): a) disponibilidade técnica; b) aplicabilidade; c) consequências de sua aplicação; d) custo; e) histórico de utilização; f) tempo necessário para atingimento das metas de remediação.

Ao longo dos anos, a indústria química tem utilizado diversas técnicas para a produção de bens e produtos, muitas vezes com o objetivo de aumentar a eficiência e reduzir custos. No entanto, algumas dessas técnicas apresentam desvantagens em relação à sustentabilidade e ao impacto ambiental. Dessa forma, Guimarães (2018) salienta que as técnicas convencionais de processos químicos e físicos, amplamente utilizadas no passado, estão sendo substituídas por técnicas de processos biológicos por se mostrarem como uma alternativa sustentável e atrativa também em razão do baixo custo.

Diante do cenário ambiental atual, o governo e empresas privadas são cada vez mais solicitadas para realizarem a remediação de solos contaminados, como forma de evitar desastres ambientais, preservar a saúde da população, renovar locais contaminados para novas utilizações, preservar a vida da fauna e da flora desses ambientes, contribuindo, por exemplo, para a preservação da produção agrícola e o fornecimento de água potável. Portanto, o presente trabalho propôs-se ao desenvolvimento de revisão sistemática da literatura científica disponível nas bases de dados eletrônicas, referente ao período de publicação entre 2012 e 2022, com enfoque nas técnicas de remediação de áreas, quais são mencionadas na literatura, as mais indicadas e a razão para que sejam.

2. Métodos e Procedimentos

Com o intuito de identificar quais técnicas de remediação de áreas contaminadas e seus processos envolvidos estão descritas nos trabalhos científicos disponíveis nas bases de dados digitais, foi realizada uma revisão sistemática da literatura. A sistematização seguiu os passos abaixo:

- a) relação dos estudos selecionados e analisados (Tabela 1);
- b) relação das técnicas mencionadas nos estudos selecionados e a quantidade de vezes em que foram neles citadas (Tabela 2);
- c) *ranking* representativo da quantidade de vezes em que as técnicas são citadas nos estudos (Gráfico 1).

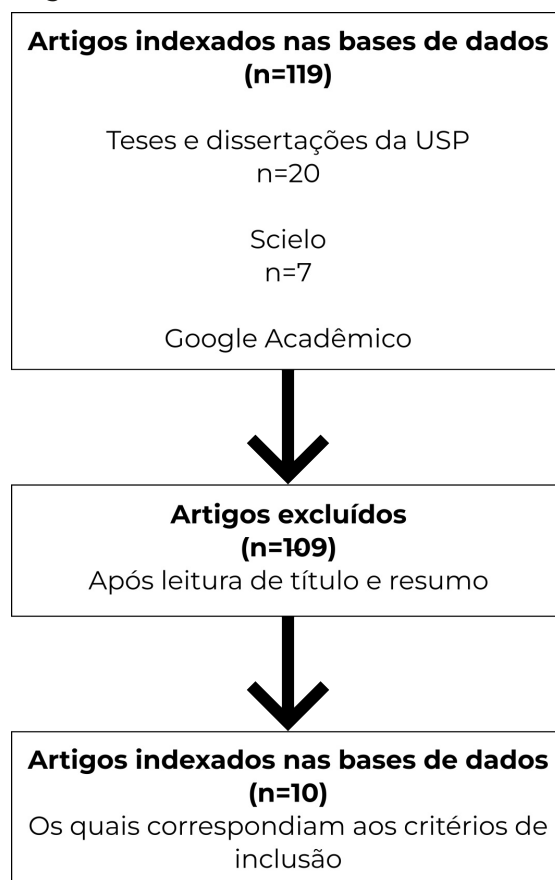
As revisões sistemáticas são consideradas estudos secundários, que têm nos estudos primários - os artigos científicos - a sua fonte de dados. Entende-se por estudos primários os artigos científicos que relatam os resultados de pesquisa em primeira mão (Galvão; Pereira, 2014). Foi também realizado um levantamento bibliográfico complementar para o desenvolvimento teórico da pesquisa.

Para o levantamento bibliográfico, buscou-se na literatura científica disponível, no banco de dissertações e teses da USP e nas plataformas Scielo e Google Acadêmico, resultados correspondentes aos descritores “técnicas remediação” com o booleano *AND* “áreas contaminadas” *OR* “solo contaminado” *AND/OR* “remediação áreas contaminadas”. O período definido para a investigação corresponde às pesquisas publicadas entre os anos de 2012 e 2022.

Ao aplicar os descritores mencionados, com a definição do período para trabalhos publicados entre os anos de 2012 a 2022 nos referidos locais de publicação, foram obtidos 119 resultados. No primeiro momento da revisão de literatura, verificou-se título e resumo de cada resultado para selecionar somente os trabalhos que: a) corroborassem com o objetivo principal da pesquisa; b) abordassem exclusivamente o contexto de esgotos, águas e efluentes contaminados, uma vez que o objetivo do trabalho visa focar em solos contaminados; e c) estivessem repetidos ou indisponíveis para acesso na íntegra de forma gratuita e *online*. Portanto, foram excluídos da análise 109 trabalhos e selecionadas 10 publicações para o desenvolvimento da análise, apresentação e discussão dos resultados obtidos.

A Figura 1 apresenta o método utilizado para filtragem de resultados das bases de dados eletrônicas.

Figura 1 - Filtragem de resultados das bases de dados eletrônicas



Fonte: Autores, 2022

3. Resultados

Na Tabela 1, os resultados foram analisados e dispostos de acordo com a ordem crescente dos anos de publicação. Também buscou-se evidenciar as técnicas utilizadas em pesquisas laboratoriais ou adquiridas em revisões sistemáticas desenvolvidas pelos autores, os quais foram indicados na tabela junto à base de dados em que foram levantados.

Tabela 1 - Relação dos estudos selecionados e analisados

Título	Autoria e Ano	Base de dados	Técnica
Ação de Eleusine coracana na Remediação de Solos Contaminados com Picloram	Silva <i>et al.</i> , 2012	Scielo	Fitorremediação com Eleusine coracana.
Estratégias de Restauração Química em Ambientes Alterados: Uma revisão	Viana; Borges; Cardoso, 2012	Google Acadêmico	Biorremediação, uso de tensoativos em soluções aquosas de detergentes e o processo de oxidação química.
Biodegradação Microbiana de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos - uma revisão	Dias, 2016	Google Acadêmico	Biodegradação microbiana.
Fitorremediação de Solos Salinizados no Semiárido Brasileiro: uma revisão de literatura	Carreiro; Leite, 2017	Google Acadêmico	Fitorremediação para diminuição da salinidade
Uso de Ectomicorrizas na Biorremediação Florestal	Faria <i>et al.</i> , 2017	Scielo	Biorremediação com fungos ectomicorrízicos.
Remediação de Solos Contaminados por Processos Fenton: Uma revisão crítica	Santos; Costa; Peralta-Zamora, 2017	Google Acadêmico	Processo Fenton
Plantas como Ferramentas para a Remediação Ambiental: uma Revisão da Literatura	Rodrigues; Orlandelli, 2018	Google Acadêmico	Fitorremediação
Principais Técnicas de Biorremediação de Áreas Contaminadas por Glifosato na Microrregião de Dourados - MS	Bonacina, 2020	Teses e Dissertações da USP	Biodegradação associada à bioestimulação e bioaugmentação.
Análise Crítica de Tecnologias Aplicadas <i>In Situ</i> para Remediação de Solo e Água Subterrânea Contaminados com Creosoto	Mendes, 2020	Teses e Dissertações da USP	Biorremediação, oxidação química, lavagem de solo e tratamento térmico.
Aplicação de Nanopartículas de Ferro Zero-Valente (nFeZ) na Remediação de Solos e Águas subterrâneas contaminadas: uma revisão	Manfron <i>et al.</i> , 2020	Google Acadêmico	Nanopartículas de Ferro Zero-Valente

Fonte: Autores, 2022

Ao se analisar os artigos apresentados na Tabela 1, percebe-se a presença de diversas técnicas de remediação de áreas contaminadas sendo aplicadas em diferentes contextos e utilizando diferentes estratégias. Notadamente, a fitorremediação é uma das técnicas mais citadas, sendo aplicada tanto para a remediação de solos contaminados quanto para a diminuição da salinidade.

A biodegradação microbiana também aparece como uma técnica eficiente, sendo citada em dois dos artigos analisados. A oxidação química é outra técnica amplamente utilizada e é mencionada em três dos artigos. É importante notar que alguns artigos abordam mais de uma técnica de remediação, indicando que muitas vezes a combinação de diferentes estratégias pode ser necessária para a efetiva remediação de áreas contaminadas.

A Tabela 2 apresenta a relação das técnicas mencionadas nos resultados selecionados e a quantidade de vezes em que foram citadas.

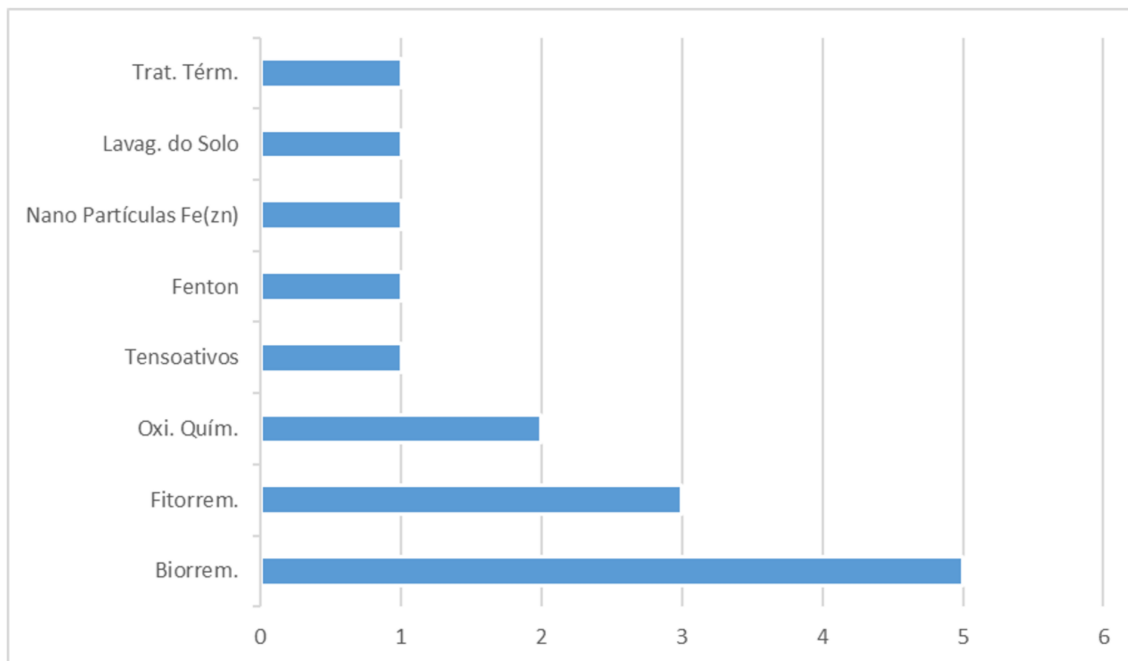
Tabela 2 - Relação das técnicas mencionadas nos resultados selecionados e a quantidade de vezes em que foram citadas

Técnicas mencionadas	Quantidade de artigos em que foram citadas	Autoria dos artigos correspondentes
Biorremediação	5	Mendes, 2020; Bonacina, 2020; Faria <i>et al.</i> , 2017; Dias, 2016; Viana, Borges, Cardoso, 2012
Fitorremediação	3	Silva <i>et al.</i> , 2012; Carreiro; Leite, 2017; Rodrigues, Orlandelli, 2018
Oxidação Química	2	Mendes, 2020; Viana, Borges, Cardoso, 2012
Tensoativos	1	Viana, Borges, Cardoso, 2012
Fenton	1	Santos, Costa, Peralta-Zamora, 2017
Nanopartículas de Ferro Zero-Valente	1	Manfrona <i>et al.</i> , 2020
Lavagem do Solo	1	Mendes, 2020
Tratamento Térmico	1	Mendes, 2020

Fonte: Autores, 2022

Dentre as diferentes técnicas verificadas na presente pesquisa, a biorremediação destaca-se com a maior quantidade de resultados obtidos entre os anos de 2012 a 2022. Esse método é evidenciado como uma alternativa tecnológica que possibilita a completa ou parcial degradação do poluente a que se dirige, resultando em sua mineralização ou sua transformação em produtos com menor toxicidade ou ainda inócuos. Utiliza principalmente diferentes espécies de fungos e de bactérias, com finalidades distintas, de acordo com as características de cada solo e condições dos poluentes.

Por fim, a Figura 2 apresenta o *ranking* representativo da quantidade em que as diversas técnicas de remediação de solos são citadas.

Figura 2 - *Ranking* representativo da quantidade em que as técnicas são citadas

Fonte: Autores, 2022

4. Discussão

Conforme os resultados apresentados na Tabela 1, as técnicas de biorremediação, fitorremediação e oxidação química são amplamente citadas na literatura como alternativas para o tratamento de contaminantes presentes no meio ambiente. A seguir, serão apresentadas as características apenas dessas técnicas.

A biorremediação é uma técnica altamente versátil e diversificada em seus processos e altamente indicada em pesquisas no Brasil e no mundo, justamente por ser uma forma de criar as condições adequadas para que a natureza limpe a si mesma, expondo o local contaminado a um exército de microrganismos que transformam o contaminante numa substância segura, como dióxido de carbono e água (Catarino, 2016).

Em síntese, a biorremediação consiste no uso de microrganismos, como bactérias e fungos, para degradar contaminantes químicos presentes no solo ou na água. Essa técnica tem sido utilizada com sucesso em diversas situações, como na remoção de hidrocarbonetos em solos contaminados por vazamentos de petróleo. A principal vantagem da biorremediação é o baixo custo e o fato de não gerar resíduos tóxicos, tornando-a uma alternativa bastante atrativa.

Nesse sentido, parâmetros como a natureza física da matriz onde o composto é encontrado (solo, água, sedimento), temperatura e luz influenciam diretamente na degradação e devem ser considerados no planejamento estratégico de remediação. Esses fatores físico-químicos podem acelerar ou reduzir o processo de degradação de um poluente, como por exemplo, a composição química da matriz ambiental em relação à capacidade nutritiva, ao pH, ao índice de umidade, ao teor de oxigênio dissolvido, ao potencial redox do meio e à composição e estrutura química do poluente. Destarte, a biorremediação apresenta diferentes vantagens em relação a outras abordagens e pode ter seu potencial aumentado ao ser utilizada em combinação com outras técnicas (Catarino, 2016).

O primeiro passo para a determinação de quais microrganismos serão mais adequados na remediação do solo contaminado é a verificação das colônias que já estão presentes no local contaminado, pois, uma vez que é observada a capacidade de um grupo de organismos em proliferar-se em um local com alta concentração de poluentes, isso denotará a sua capacidade em metabolizar os contaminantes ali presentes (Dias, 2016). Além disso, Dias (2016) ressalta a importância do desenvolvimento de mais estudos para o uso de microrganismos bacterianos como ferramenta biotecnológica para as medidas de remediação de áreas contaminadas e nos mais diversos tipos de resíduos, uma vez que se demonstra eficaz e com baixos efeitos colaterais no ambiente em questão.

Dentre as alternativas para a despoluição de áreas contaminadas, principalmente por agrotóxicos, as quais podem não somente impedir novos cultivos naquele solo, como a contaminação de águas subterrâneas e cadeias alimentares, de outros animais e humana, o uso de plantas específicas à remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos, conhecida como fitorremediação, se apresenta como uma biotecnologia eficiente na extração e conversão desses poluentes em metabólitos menos tóxicos que se acumulam no tecido das plantas utilizadas. Ainda que essa medida necessite de um tempo maior para a sua eficiência planejada, é considerada uma técnica econômica e menos nociva quando comparada às medidas químicas e físicas (Silva *et al.*, 2012).

Os autores Carreiro e Leite (2017) versam sobre a aplicação da fitorremediação também na diminuição da salinidade em solos no semiárido brasileiro utilizando plantas com potencial fitoextrator de sais, as quais podem ser cultivadas em águas salgadas e possuem tolerância à salinidade e elevada produção de biomassa.

Rodrigues e Orlandelli (2018) também ressaltam as características

de baixo custo e sustentabilidade da técnica de fitorremediação de descontaminação de solos, podendo ser facilmente aplicada *in situ* em áreas extensas e apresentando facilidade no controle do crescimento e colheita dos vegetais utilizados na remediação.

O uso de plantas na degradação e/ou remediação de solos contaminados por herbicidas também é descrito e caracterizado em dois principais mecanismos: fitoestimulação, em que os microrganismos degradantes associados às raízes de plantas tolerantes têm sua ação estimulada pela exsudação radicular; e a fitodegradação, onde ocorre a degradação do poluente e sua posterior degradação parcial ou completa, transformando o composto poluente em uma estrutura menos tóxica (Rodrigues; Orlandelli, 2018).

Nesse íterim, as plantas identificadas como mais eficientes para o processo de fitoestimulação foram a alfafa (*Medicago sativa*), cujas raízes, no crescimento, estimulam a proliferação de microrganismos capazes de degradar contaminantes orgânicos na região da rizosfera, e o milho (*Z. mays*), em que ocorre a absorção, pelas raízes, de metais pesados, HPAs, pesticidas e herbicidas orgânicos, seguida pelo transporte até as partes aéreas, nas quais são acumulados (Rodrigues; Orlandelli, 2018).

Por sua vez, em relação ao mecanismo da fitotransformação, o caniço (*P. australis*) e a taboa (*Typha angustifolia*) foram ressaltados como eficientes na quebra de contaminantes absorvidos por meio de processos metabólicos na planta ou a quebra de contaminantes externamente à planta a partir do efeito de compostos produzidos pelas plantas (Rodrigues; Orlandelli, 2018).

Estudo da CETESB (2017b) observa que é necessário efetuar teste piloto em laboratório e casa de vegetação, com processos de fitorremediação e biorremediação. Após análise dos dados de eficiência e eficácia dos respectivos ensaios, segue-se para testes em campo, onde será avaliada a redução das substâncias químicas de interesse, isto é, a performance dos resultados aferidos em laboratório e em campo. Além disso, todos os produtos empregados na remediação de áreas contaminadas devem ter registro no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

Diante das técnicas demonstradas é importante salientar que o procedimento de remediação e recuperação de áreas contaminadas terá seu tempo de atuação definido pelas características de recuperação do solo contaminado e da técnica utilizada, seja ela individual ou concomitante a alguma outra.

Dentre essas, a oxidação química é uma técnica que envolve a utilização de compostos químicos oxidantes para transformar os poluentes em compostos menos tóxicos. Essa técnica tem sido utilizada com sucesso na remoção de compostos orgânicos voláteis, como o clorofórmio, presente em águas subterrâneas. A principal vantagem da oxidação química é a alta eficiência na remoção de contaminantes, mas o custo pode ser elevado e pode gerar subprodutos tóxicos.

Porém é bom salientar que o tratamento de oxidação química resulta em menor toxicidade dos compostos poluentes como o gás carbônico, água e sais orgânicos, tornando-os menos agressivos ao reagir com a matéria orgânica contaminada (Viana; Borges; Cardoso, 2012). Essa técnica é bastante indicada para o tratamento de águas subterrâneas e efluentes, diferente do uso em solos contaminados, enfoque da presente pesquisa.

Apesar das vantagens e desvantagens de cada uma, é importante destacar que a escolha da técnica adequada para cada caso deve considerar as características do contaminante, do ambiente e as limitações e capacidades técnicas de cada empresa. Em geral, a combinação de diferentes técnicas pode ser a mais eficiente e sustentável para a remediação ambiental.

5.Considerações Finais

A proposta inicial, com enfoque nos estudos das técnicas de remediação de áreas publicados no período de 2012 a 2022, foi contemplada ao analisarmos e discutirmos a diversidade de técnicas apresentadas nos trabalhos selecionados. Foi possível verificar as consequências benéficas e os desafios que englobam o uso de cada técnica em particular, compreendendo a finalidade de cada uma dentro dos contextos desenhados nas pesquisas; assim como, o potencial de ação favorável do uso concomitante a outra(s) técnica(s), a fim de garantir o custo-benefício dentro dos parâmetros de recursos disponíveis, tempo de atuação disponível para o processo de remediação e o potencial de preservação ou prejuízo que cada técnica poderá proporcionar ao bioma no local a ser descontaminado.

Também se ressalta a importância de os governos estabelecerem medidas internas e coletivas, com outros países, que sejam mais efetivas e amplamente utilizadas, não somente no desenvolvimento de tecnologias que prejudiquem o mínimo possível o bioma contaminado, como também a responsabilização e envolvimento de

indústrias e empresas que produzem dejetos tóxicos e contaminam os locais em que se estabelecem. Dessa forma, a legislação estaria sendo aplicada de acordo com suas premissas.

Nesta pesquisa, percebe-se que a revisão sistemática bibliográfica sobre as técnicas de remediação em áreas contaminadas no Estado de São Paulo evidencia a importância da adoção de medidas adequadas para minimizar os impactos ambientais e proteger a saúde pública. Diversas técnicas foram estudadas e apresentam resultados positivos na descontaminação do solo e da água subterrânea, incluindo a bioestimulação, a biorremediação e a fitorremediação. No entanto, é fundamental considerar as características específicas de cada área contaminada e escolher a técnica mais adequada, levando em conta fatores como a natureza dos contaminantes, as condições climáticas, a topografia e a proximidade com áreas residenciais.

Além disso, é importante garantir a participação da comunidade e a transparência das informações, de modo a promover a confiança e o engajamento dos envolvidos.

Em suma, a revisão sistemática reforça a importância da adoção de uma abordagem multidisciplinar e integrada para a remediação de áreas contaminadas que envolva especialistas em diversas áreas e a participação ativa da sociedade.

6. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15515-1 - Investigação de Passivo Ambiental em Solo e Água Subterrânea – Parte 1: Avaliação preliminar**. Rio de Janeiro, 2021.

BONACINA, D. Y. **Principais Técnicas de Biorremediação de Áreas Contaminadas por Glifosato na Microrregião de Dourados MS**. 2020. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química. São Paulo, 2020.

BRASIL. **Lei nº 1.413, de 14 de agosto de 1975**. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente provocada por atividades industriais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 ago. 1975.

CARREIRO, D.; LEITE, J. C. A. Fitorremediação de Solos Salinizados no Semiárido Brasileiro: uma revisão de literatura. In: **Anais do Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido**. 2ª ed. Campina Grande, 2017.

CATARINO, S.R.M. **Biorremediação**. 2016. Dissertação (Ciências Farmacêuticas) - Faculdade de Farmácia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016. Disponível: <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/41900/2/Monografia%203.pdf>. Acesso em: 20/01/2022.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Histórico do Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo**, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/solo/poluicao/>. Acesso em 03 mar. 2022.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Instrução técnica nº 039/2017**. 2017a. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2019/08/IT_039.pdf. Acesso em 27 fev. 2024.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Decisão de Diretoria nº 038/2017/C**, de 07 fevereiro de 2017. 2017b. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2014/12/DD-038-2017-C.pdf>. Acesso em 27 fev. 2024.

DIAS, P. L. **Biodegradação Microbiana de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos: uma revisão**. 2016. Monografia (Pós-graduação Lato Sensu em Microbiologia) – Universidade Federal do Mato Grosso (UFMG). Cuiabá, 2016.

EUGRIS. **Portal web de informações e serviços em tópicos relacionados a solo e água contaminados da União Europeia**, 2022. Disponível em: <http://www.eugris.info/siteindex.asp>. Acesso em: 05 mar. 2022.

FARIA, A. B. C.; MONTEIRO, P. R.; AUER, A. C.; ÂNGELO, A. C. Uso de Ectomicorrizas na Biorremediação Florestal. **Revista Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 21-29, 2017.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Revista Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, vol. 23, n.1, p. 183-184, 2014.

GUIMARÃES, C. C. **Estudo da Utilização de Composto Orgânico para a Remediação de Solo Contaminado por Hidrocarboneto de Petróleo**. 2018. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência Ambiental) – Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2018.

MANFRONA, S.; THOMÉA, A.; CECCHIMA, I.; REDDYB, K. R. Aplicação de Nanopartículas de Ferro Zero-Valente (Nfez) na Remediação de Solos e Águas Subterrâneas Contaminadas: uma revisão. **Revista Química Nova**, v. 43, n. 5, p. 623-631, 2020.

MENDES, G. P. **Análise Crítica de Tecnologias Aplicadas *In Situ* para Remediação de Solo e Água Subterrânea Contaminados com Creosoto**. 2020. Monografia (Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de *Brownfields*) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química. São Paulo, 2020.

RODRIGUES, P. T. A.; ORLANDELLI, R. C. Plantas como Ferramentas para a Remediação Ambiental: uma Revisão da Literatura. **Revista Uniciências**, v. 22, n. 1, p. 38-44, 2018.

SANTANA, D. S. **Revolução Industrial Brasileira**: análise econômica no período de 1930 a 1956. 2016. Monografia (Graduação no Curso de Ciências Econômicas) Departamento de Economia, Universidade Federal de Roraima (UFR), Boa Vista, 2016.

SANTOS, A.; COSTA, G. S.; PERALTA-ZAMORA, P. Remediação de Solos Contaminados por Processos Fenton: uma revisão crítica. **Revista Química Nova**, v. 40, n. 3, p. 327-333, 2017.

SÃO PAULO. **Lei nº 997, de 31 de maio de 1976**. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. SP, 31 maio 1976.

SÃO PAULO. **Lei nº 13.577, de 08 de julho de 2009**. Dispõe sobre diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas, e dá outras providências correlatas. SP, 08 jul. 2009.

SILVA, L. O. C.; SILVA, A. A.; QUEIROZ, M. E. L. R.; LIMA, C. F.; ROCHA, P. R. R.; D'ANTONINO, L. Ação de Eleusine coracana na Remediação de Solos Contaminados com Picloram. **Revista Planta Daninha**, v. 30, n. 3, p. 627-632, 2012.

VIANA, I. R.; BORGES, M. S.; CARDOSO, P. S. Estratégias de Restauração Química em Ambientes Alterados: uma revisão. **Revista EdUnesc**, v. 10, n. 1, p.145-158, 2012.

Design de Superfície Inclusivo: Embossing para acessibilidade tátil

Camila de Melo Araújo (1), Gabrielly Gonçalves Tavares da Silva (2)
Edney Eboli dos Santos (3); Fábio Gomes da Silva (4)

Resumo

Este artigo busca analisar a importância da inclusão e igualdade de acesso, propondo o uso da técnica de *embossing* como meio de tornar as embalagens sensorialmente perceptíveis e informativas para todos os consumidores, com ênfase especial para aqueles com deficiência visual. No setor de chocolates, a diferenciação e a percepção de qualidade são constantemente buscadas, sendo a embalagem um componente essencial nesse contexto. No entanto, muitas vezes as necessidades específicas das pessoas com deficiência visual são negligenciadas. Nesse sentido, este artigo tem como principal objetivo preencher essa lacuna a partir do uso do design de superfície como ferramenta capaz de aumentar a proposta de valor em embalagens de chocolates, explorando de forma criativa e funcional a técnica do *embossing*, pela aplicação de texturas em alto relevo a fim de oferecer informações táteis significativas nas embalagens de chocolate e promover, além do valor estético, a acessibilidade para pessoas com deficiência visual. A partir de visitas a Fundações e ao Centro de Apoio a deficientes visuais, pôde-se levantar dados que subsidiaram o desenvolvimento de texturas para identificação do sabor do chocolate, por meio da reprodução da mencionada técnica. Amostra das propostas foram impressas em uma impressora 3D em polímero PLA (ácido polilático), que posteriormente foram submetidas à avaliação de usuários com perda total e parcial da visão. Os resultados justificam a relevância desta pesquisa, como foi possível verificar em entrevista e questionário aplicados junto a deficientes visuais, cujas respostas apontam que a aplicação das texturas agrega valor, possibilitando que pessoas com maior sensibilidade tátil identifiquem o sabor do chocolate por meio dos ícones criados.

Palavras-chave: *Design de Superfície; Design de Produto; Deficiência Visual; Embalagem; Embossing.*

(1) aluna - camila.araujo25@fatec.sp.gov.br; (2) aluna - gabrielly.silva13@fatec.sp.gov.br;
(3) professor - edney.santos01@fatec.sp.gov.br; (4) professor - fabio.silva@fatec.sp.gov.br

1. Introdução

Segundo Santana (2014), o número de deficientes visuais analfabetos, seja no sistema Braille ou não, é significativamente alto:

O nível de escolaridade dos cegos, em sua maioria (74%), foi classificado como analfabeto, seguido pela conclusão do ensino médio (14%) e o somatório dos ensinos básicos e fundamental (11%). Analfabetos aqui incluem os que não sabem ler em Braille, ou outro método, e os que não possuem certificação escolar (Santana, 2014, p. 11).

Considerando esses fatos e o mercado, que cada vez mais exige a evolução dos produtos e embalagens para incorporar características inclusivas, as quais visam tornar a experiência de compra mais abrangente para todos, a aplicação de conhecimentos em *design* de superfície e *design* de produto revela-se como um meio eficaz para conceber e desenvolver embalagens acessíveis para pessoas com deficiência visual. Diante dessa demanda do mercado, a implementação de técnicas como o *embossing* pode auxiliar no desenvolvimento de texturas em alto relevo. Por meio do tato, esse recurso permite a identificação do sabor do chocolate. É intrínseca a responsabilidade social do *designer* em promover inclusão e igualdade em novos produtos.

Com isso, o estudo visa criar ícones em alto relevo para facilitar a identificação de sabores específicos de chocolate (chocolate com morango, chocolate com amendoim e chocolate branco), promovendo a autonomia na escolha do produto por parte do deficiente visual. Ao validar sua importância, este método apresenta uma abordagem inovadora em acessibilidade para pessoas cegas, proporcionando uma alternativa além do tradicional sistema Braille.

O estudo inicia com uma revisão bibliográfica e segue para pesquisas de campo, incluindo visitas técnicas a instituições de apoio a deficientes visuais. O levantamento de dados, o desenvolvimento de propostas de ícones com texturas e uma pesquisa de opinião complementam o estudo, culminando na discussão dos resultados. Essa abordagem metodológica busca proporcionar uma nova visão para a acessibilidade em embalagens.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Deficiência Visual

De acordo com o Ministério da Educação (Brasil, 2010), os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) indicam que o Brasil tinha 18,6% da população com algum tipo de deficiência visual. Destes, 6,5 milhões apresentavam deficiência visual severa, 506 mil tinham perda total da visão (cerca de 0,3% da população) e 6 milhões tinham grande dificuldade para enxergar (em torno de 3,2% da população).

A deficiência visual é uma condição que afeta a capacidade de uma pessoa perceber visualmente o mundo ao seu redor. Isso pode variar desde a perda parcial da visão até a cegueira total, influenciando a capacidade de uma pessoa de realizar tarefas visuais cotidianas e de interagir com o ambiente. Baseando-se em indicações da Organização Mundial da Saúde (OMS), o Ministério da Saúde (Brasil. Ministério da Saúde, [s/d.]), relaciona as principais causas da cegueira no Brasil: catarata, glaucoma, retinopatia diabética, cegueira infantil e degeneração macular.

A Fundação Dorina Nowill é uma entidade filantrópica fundada em 1946 que tem como objetivo facilitar a inclusão de crianças, jovens e adultos cegos e com baixa visão por meio de serviços especializados. Em material educativo, essa fundação define deficiência visual como “perda total ou parcial, congênita ou adquirida, da visão” (Dorina Nowill, 2024).

O conteúdo também menciona que a deficiência visual é classificada em dois grupos: cegueira total e baixa visão ou visão subnormal. A cegueira total refere-se à ausência completa de visão, o que significa que a pessoa é incapaz de perceber qualquer luz ou forma visual. A baixa visão indica uma visão residual limitada, em que uma pessoa tem algum nível de visão, mas enfrenta desafios significativos ao realizar tarefas visuais cotidianas, como leitura e locomoção. A visão subnormal denota uma condição em que a visão é reduzida, mas não a ponto de ser considerada cegueira total. Pessoas com visão subnormal têm uma visão comprometida que não pode ser corrigida por meio de óculos ou lentes.

Ventorini (2007, p. 57) destaca que, enquanto as pessoas sem deficiência visual dependem principalmente da visão para a interpretação do mundo ao seu redor, aquelas com deficiência visual desenvolvem outras habilidades sensoriais e cognitivas para

compensar a perda ou a limitação da visão. Verifica-se nessas últimas um maior desenvolvimento de outros sentidos, como o tato, a audição e a memória, que permitem adaptação ao ambiente por meio de recursos alternativos e estratégias de aprendizagem específicas.

Essa adaptação passa pelo desafio de se adequar a um mundo orientado predominantemente pelo visual. Isso leva a questões de inclusão e acessibilidade. Muitas vezes não há, por parte dos deficientes visuais, autoconfiança e aceitação própria, em decorrência dos estigmas e barreiras sociais que podem afetar sua imagem pessoal e social, já que na maior parte das vezes não são vistos como indivíduos autônomos e independentes.

Silva (2017, p. 12), ao falar sobre inclusão social e acessibilidade, evidencia:

Quando se inclui o invisual na sociedade através da acessibilidade, proporciona direitos e liberdade em ir ou não a um lugar e aderir ou não um produto, atribuindo um desejo de existência destas pessoas, pois quando se trata de consumir algo, a sociedade enxerga os indivíduos com outros olhos e os próprios deficientes têm o desejo de ser “enxergado” pela sociedade, superando sua crise existencial (Silva, 2017, p. 12).

Para que esses direitos sejam assegurados, foi necessário desenvolver um sistema próprio de leitura e escrita. A partir desse sistema, é possível integrar o deficiente visual ao mundo físico por meio de uma norma para edificações. A norma que regulariza tais parâmetros é a ABNT NBR 9050:2021, que define acessibilidade como “possibilidade e condição de alcance, percepção e entendimento para utilização, com segurança e autonomia” (ABNT, 2021, p. 2).

2.2 Design de Superfície

Quando abordado o tema do *design* de superfície, não é comum classificá-lo como uma disciplina específica do *design*. No entanto, conforme apontado por Freitas (2012, p. 16), “afirmar que *design* de superfície é *design* gráfico ou têxtil ou até de produto é sintetizar as complexidades intrínsecas de cada área”. Essa ambiguidade surge devido à notável versatilidade e ampla aplicação do *design* de superfície. Como explica Schwartz (2008, p. 20), “o Objeto depende diretamente da relação entre Superfície e Volume, só sendo completamente apreendido e caracterizado ao final desta interação, quando somente então passa a existir como produto”. Isso nos mostra que o *design* de produto e o *design* de superfície frequentemente trabalham juntos, o que ajuda a explicar a razão por trás da dificuldade em definir onde um começa e o outro termina. Tal dinâmica destaca

como essas duas disciplinas podem coexistir na criação de um objeto.

Em termos gerais, o *design* de superfície desempenha o papel de definição da interface de um produto e engloba a aplicação de texturas, padrões, cores e estampas que se destinam a aprimorar a aparência ou a funcionalidade de um objeto. Esse aspecto do *design* pode ser aplicado de diversas maneiras, desde uma abordagem puramente estética até a integração completa das características visuais com a funcionalidade tátil desenvolvida por essa superfície.

O *design* de superfície é, portanto, uma especialidade do campo do *design*, já que seus meios práticos e simbólicos possuem relações únicas em seu processo criativo, caracterizado como trabalho da área. Além disso, tem como funções tratar, explorar e ressaltar a interface comunicativa dos objetos, unindo características funcionais e estéticas que se apresentam também em outras especialidades, porém em cada uma, tais fatores possuem importâncias específicas (Freitas, 2012, p. 20).

O *design* de superfície desempenha um papel fundamental na concepção e criação dos produtos, sendo um dos principais fatores. De acordo com Negrão e Camargo (2007), a abordagem da superfície nas embalagens está ligada na sua percepção de forma. Os autores relacionam seis fatores essenciais para essa percepção, sendo um deles a textura.

Segundo Negrão e Camargo (2007), há uma distinção importante entre duas formas de textura: a original, que representa a qualidade natural da superfície, e a representada, que se refere à representação gráfica dessa textura. "Ao olharmos uma superfície texturizada reagimos às características táteis desse objeto e sentimos sua tridimensionalidade" (Negrão e Camargo, 2007, p. 154).

Sendo assim, a superfície de um objeto explora um processo minucioso que visa oferecer ao consumidor experiências envolventes. Essas experiências não se limitam apenas ao aspecto visual, abrangendo também elementos táteis e emocionais.

A função da superfície vai além de ser invólucro de qualquer corpo existente ou suporte de matéria-prima. É também a camada de comunicação com o mundo exterior. Por meio da manipulação da superfície, da seleção de materiais, gráficos, texturas e cores nos objetos de uso, é possível estimular os sentidos humanos e provocar sensações, fortalecendo a conexão estabelecida entre usuário e objetos por meio da experiência emocional (Freitas, 2012, p. 33).

Portanto, o *design* de superfície desempenha um papel essencial na formatação da interface do objeto, permitindo a criação de diversas experiências para o usuário, enriquecendo assim o valor do produto.

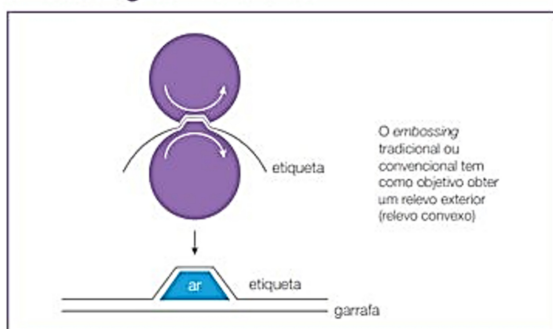
2.3 Embossing no design de superfície

A técnica de *embossing* é amplamente utilizada na indústria de impressão para adicionar efeitos em relevo em uma variedade de materiais, como papel, plástico, metal e tecido. Sparavigna (2013, p. 1), explica: “Para realizar o *embossing*, são usadas técnicas a seco, onde a pressão atua sobre o substrato, e técnicas a quente, onde o calor é combinado com o efeito da pressão”. A autora ainda explica que, para produtos mais simples, são utilizados matrizes e rolos. Nesses casos, o molde ou padrão desejado devem ser impressos no negativo, a fim de que, quando a matriz for pressionada contra o material, seja visualizado de forma correta.

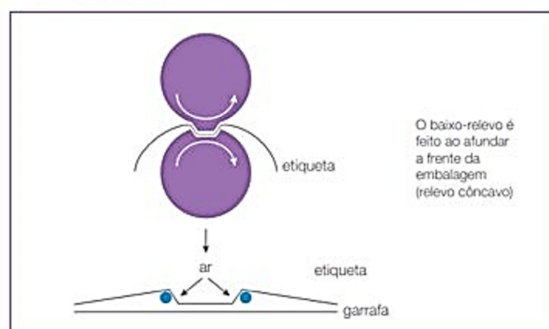
Há ainda as ferramentas denominadas “contra matriz” e “contra rolos”, feitos de polímero ou borracha. A figura 1 apresenta um esquema ilustrativo de como é realizada a técnica de *embossing*:

Figura 1 - Técnica de *embossing*

Relevo tradicional ou *embossing* convencional:



Baixo-relevo:



Fonte: Avery Dennison, s/d.

A técnica do *embossing* é valorizada por sua capacidade de criar texturas e *designs* táteis, que não apenas proporcionam um apelo visual, mas também permitem uma interação sensorial mais rica. Muitas vezes essa técnica é utilizada na produção de embalagens *premium*, cartões de visita, convites e materiais promocionais. Ao adicionar uma dimensão tátil aos produtos impressos, o *embossing* ajuda a destacar e a aprimorar a percepção de qualidade e sofisticação do produto. Além disso, o *embossing* pode ser combinado com outras técnicas de impressão, como *hot stamping* e impressão *offset*, para criar efeitos ainda mais impressionantes. A habilidade de trabalhar com os efeitos gerados pelas luzes e as sombras dos relevos, criando contrastes visuais e táteis, contribui para a criação de peças impressas que aguçam os sentidos e reforçam a identidade da marca.

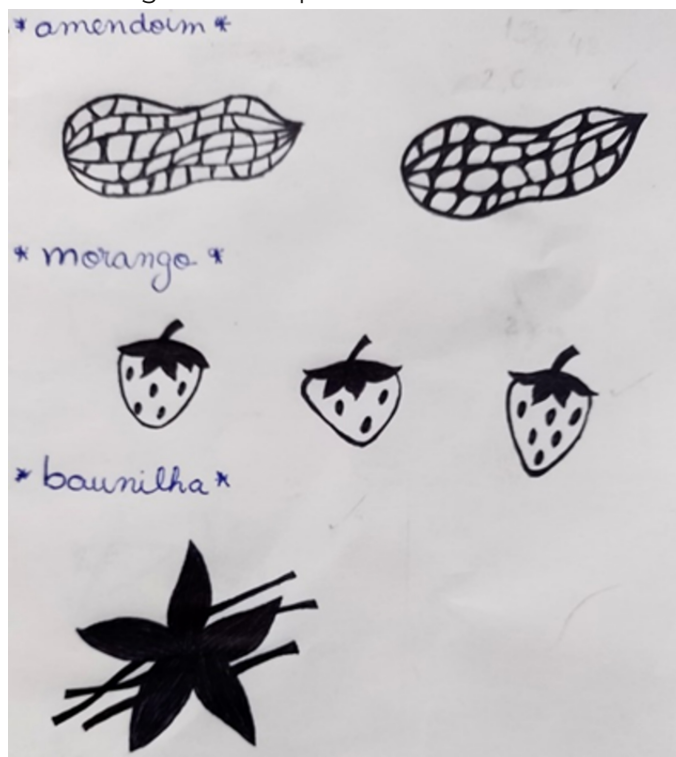
3. Métodos

3.1 Desenvolvimento de propostas de embalagens com textura em relevo / prototipação

Para iniciar o desenvolvimento das texturas, foi determinada a seleção dos sabores de chocolates que seriam utilizados na criação dos ícones em relevo. Optou-se por três sabores distintos: chocolate com amendoim, chocolate com morango e chocolate branco; todas elas versões encontradas em diversas marcas no mercado.

Com os sabores escolhidos, deu-se início ao desenvolvimento dos ícones. Para os sabores de morango e amendoim, optou-se por adotar suas formas distintivas, utilizando-se figuras facilmente associadas pelas pessoas ao amendoim e ao morango. Quanto ao chocolate branco, havia um desafio significativo em representá-lo com uma figura que fizesse sentido para o público. A referência se baseou no sabor. Assim, a decisão foi representá-lo pela baunilha, uma escolha estratégica para estabelecer uma associação entre o ícone e o sabor desejado na mente das pessoas. Essa abordagem visa criar uma ligação entre o ícone e o sabor do chocolate branco. Conforme apresentado na figura 2:

Figura 2 -Croqui inicial dos ícones



Fonte: Os autores, 2023

Os ícones passaram por um processo de digitalização, sendo convertidos em imagens vetorizadas, conforme apresentados na figura 3:

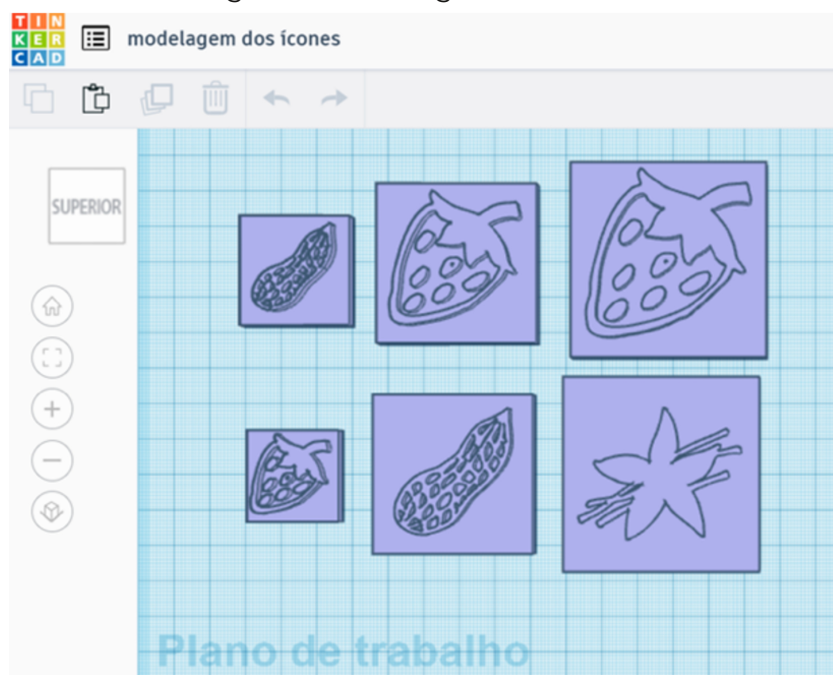
Figura 3: Imagens vetorizadas dos ícones



Fonte: Os Autores, 2023

Após a conversão das imagens em vetor, procedeu-se à modelagem para criar as texturas dos ícones, utilizando o *software* gratuito TinkerCad, da Autodesk. Considerando ser necessário o desenvolvimento de diferentes dimensões para que posteriormente fosse realizada a avaliação de tamanho mais confortável para leitura por deficientes visuais, foram modelados ícones de morango em três dimensões distintas: grande (5,0x5,0cm), médio (4,0x4,0cm) e pequeno (2,5x2,5cm), todos com uma altura de 4,0mm. Além disso, foram criados pequeno e médio do amendoim e um médio para representar a baunilha. Conforme apresentado na figura 4:

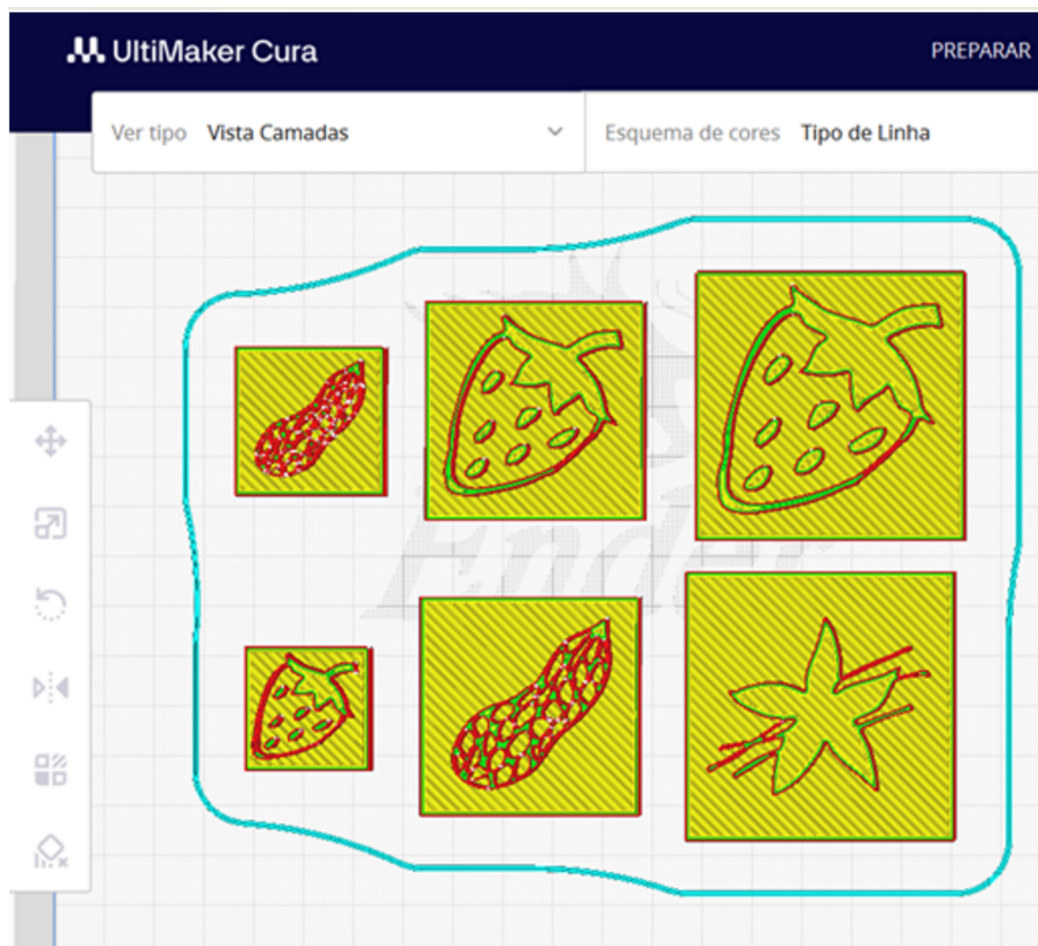
Figura 4 - Modelagem dos ícones



Fonte: Os autores, 2023

Após concluir a modelagem e salvar o arquivo no formato .STL, foi usado o *software* livre UltiMaker Cura para realizar o processo de fatiamento das placas, etapa preparatória antes da impressão 3D, conforme mostra a figura 5:

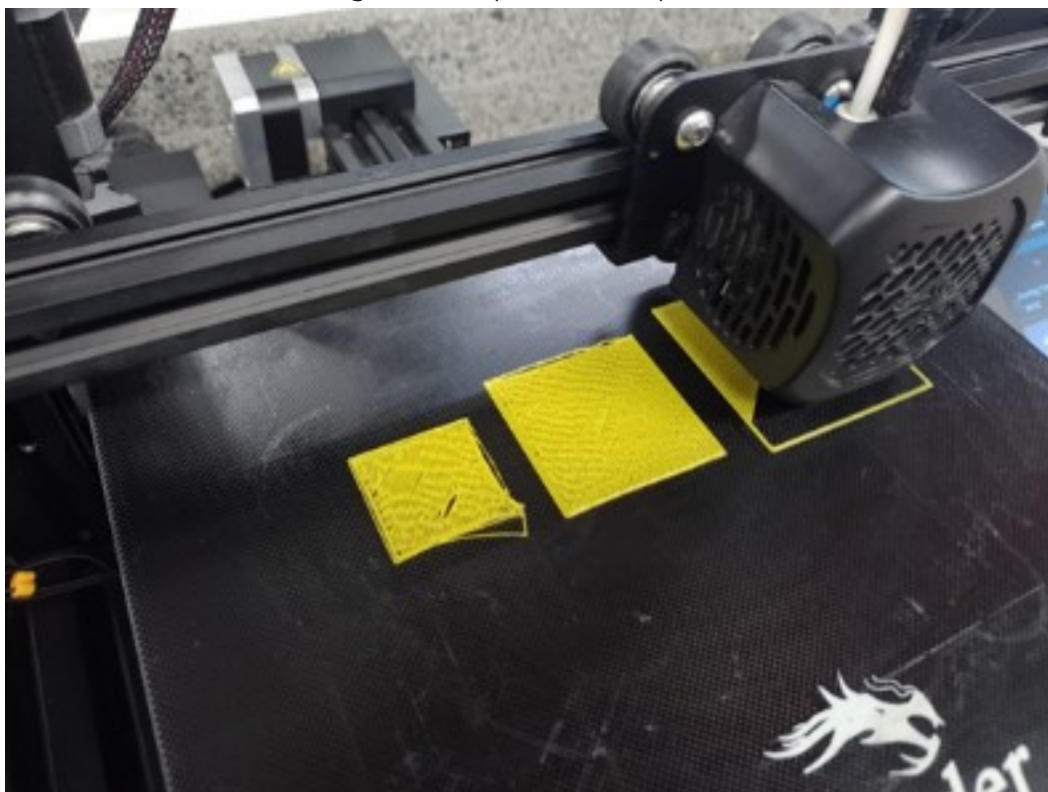
Figura 5 - Modelagem no Cura



Fonte: Os autores, 2023

Em seguida foi realizada a impressão das placas utilizando-se a impressora Ender-3 V2, que imprimiu empregando o material PLA (ácido poliláctico). A impressão teve uma duração média de quatro horas. Conforme mostram as figuras 6, 7 e 8:

Figura 6 - Impressão das placas



Fonte: Os autores, 2023

Figura 7 - Placas impressas



Fonte: Os autores, 2023

Figura 8 - Textura negativa



Fonte: Os autores, 2023

O *embossing* no papel cartão não alcançou o resultado esperado. O relevo mostrou-se negativo, não sendo possível senti-lo do outro lado da folha, como era previsto.

3.2 Levantamento de dados com pessoas deficientes visuais

Com o intuito de compreender os desafios e dificuldades do cotidiano de um indivíduo com deficiência visual, foi verificada a necessidade de um levantamento de dados com amostra não probabilística por conveniência dos autores.

Sendo assim, realizou-se uma pesquisa com deficientes visuais do Centro de Apoio ao Deficiente Visual de Poá para esclarecer dúvidas e conferir sugestões em relação às suas interações com o mundo ao seu redor. A pesquisa foi realizada por meio de convite por telefone, com objetivos meramente acadêmicos, com participação anônima não-obrigatória dos entrevistados.

Para avaliar as diferentes percepções sensoriais entre pessoas com cegueira total e parcial, a amostragem de entrevistados foi dividida em dois grupos distintos, conforme mostra o quadro abaixo:

Tabela 1 - Número de entrevistados e deficiências estudadas

Deficiência Visual	Número de entrevistados
Cegueira total	7
Baixa Visão	1
Visão Subnormal	0

Fonte: Os autores, 2023

Desse total, 7 pessoas tinham perda total da visão. Já o número de entrevistados com baixa visão foi de apenas 1 pessoa.

Para a entrevista realizada nesse estudo, utilizou-se um questionário direcionado, no intuito de levantar a percepção desse grupo de pessoas em relação às texturas criadas. Os objetivos do questionário foram: medir a relevância na incorporação de uma proposta de ícones de identificação e levantar a opinião de pessoas com deficiência visual quanto à aplicação dos ícones (se era ou não possível identificar os sabores de chocolate através dos mock-ups gerados).

Entre os dados obtidos, destacam-se: 1) Se o entrevistado era alfabetizado em Braille e se isso iria interferir em sua percepção das texturas propostas; 2) Apenas a identificação do nome do sabor do chocolate é suficiente para identificá-lo no momento da compra?; 3) Apenas a identificação do nome do sabor do chocolate é suficiente para identificá-lo em casa?; 4) O ícone de identificação do sabor é uma opção interessante para aqueles que não são alfabetizados em Braille?; e 5) Identificar a marca é uma questão pertinente de ser identificada?

Observou-se que, do total, 25% não sabiam ler ou escrever em Braille. Destacam-se que aqueles alfabetizados tinham maior sensibilidade tátil, portanto puderam identificar os sabores propostos com menor dificuldade. Os entrevistados afirmaram que apenas a identificação não é suficiente para reconhecer o Braille ou textura no papel, pois com o tempo e o uso, o papel sofre desgaste, perdendo a superfície em alto relevo. Aqueles não alfabetizados no sistema Braille consideraram uma opção interessante o uso de ícones de identificação, além de considerar pertinente a identificação da marca, uma vez que se sentem notados, sem distinção, pela marca.

4. Resultados

As entrevistas realizadas contribuíram para responder as questões iniciais dos autores. Independentemente do grau de deficiência visual, os 8 entrevistados afirmaram que a adoção de técnicas de *embossing* nas embalagens de chocolate poderá resultar em uma percepção sensorial de maior qualidade e valor aos consumidores de chocolate. Além disso, o uso de elementos figurativos e não apenas o sistema Braille nas embalagens de chocolate melhora a experiência de compra e aumenta a conexão emocional com os consumidores com deficiência visual, uma vez que nem todos são alfabetizados no sistema Braille.

Os entrevistados com baixa visão afirmaram que algumas características, como o tamanho da fonte, a combinação de cores e a tipografia comprometem a legibilidade. Por essa razão, o uso do sistema pictórico é importante.

No *mock-up* cuja etiqueta representava o morango, 37,5% dos entrevistados foram capazes de identificar o ícone; os outros 62,5% não assimilaram a forma da figura proposta com a fruta morango. O cabo desenhado na proposta do primeiro ícone levou os entrevistados a assimilarem a figura à fruta maçã. Com isso, visando uma melhor percepção, será desenvolvido um novo *mock-up*, levando em consideração os pontos mostrados pelos entrevistados.

Na avaliação do *mockup* que representava o amendoim, 25% dos entrevistados foram capazes de associar o desenho ao amendoim. Em contrapartida, 75% dos entrevistados sentiram dificuldade em associar a forma ao amendoim. A partir desse resultado, ficou clara a necessidade de aprimorar a forma do amendoim desenvolvido.

O *mockup* que representava uma flor de baunilha, com o intuito de relacionar ao chocolate branco, obteve resultados positivos. Entre os entrevistados, 75% foram capazes de identificar e assimilar a figura da baunilha ao chocolate branco.

Em relação às dimensões dos ícones criados, entre o *mockup* médio e o pequeno (2,5x2,5cm e 4,0x4,0cm, respectivamente), os resultados apontam uma preferência pelo tamanho médio dos ícones (4,0x4,0cm). Quanto àqueles que não sabem ler Braille, há uma preferência pelo ícone maior (5,0x5,0cm).

5. Considerações Finais

Diante dos dados e análises apresentadas, torna-se evidente a urgência em promover a inclusão de deficientes visuais através de soluções de *design* inovadoras e acessíveis. O alto índice de analfabetismo entre deficientes visuais, seja no sistema Braille ou não, reforça a necessidade de desenvolver métodos alternativos de comunicação e identificação de produtos. A aplicação de técnicas como o *embossing*, que possibilita a criação de texturas em alto relevo, mostra-se uma abordagem promissora para a criação de embalagens acessíveis e inclusivas.

O estudo realizado focou na concepção de ícones em relevo para a identificação de sabores específicos de chocolate, o que não apenas promove a autonomia dos deficientes visuais na escolha do produto, mas também ressalta a responsabilidade social dos *designers* em criar produtos que atendam às necessidades de todos os consumidores. A metodologia, que incluiu revisão bibliográfica, pesquisas de campo, e entrevistas com deficientes visuais, forneceu uma base sólida para o desenvolvimento e validação das propostas de ícones táteis.

A aplicação do questionário a um grupo de respondentes selecionados por amostra não-probabilística, permitiu reafirmar a relevância do tema e o grau de importância de incorporar ícones de identificação por meio do *design* de superfície, sob a perspectiva de indivíduos invisuais.

Os resultados obtidos nas entrevistas e testes com os protótipos de ícones foram promissores. Contudo, os desafios encontrados, como a necessidade de ajustar o *design* dos ícones para aprimorar sua percepção tátil, indicam que há oportunidades para melhorias contínuas.

Este estudo contribui significativamente para o campo do *design* inclusivo, destacando a importância de considerar a diversidade sensorial dos usuários. A implementação de ícones em relevo nas embalagens de chocolate não só melhora a experiência de compra para deficientes visuais, mas também promove uma conexão emocional mais forte com a marca, valorizando a inclusão e a acessibilidade.

Concluindo, a pesquisa demonstra que o *design* de superfície, aliado a técnicas como o *embossing*, pode transformar a forma como produtos são apresentados e acessados por deficientes visuais. Esse avanço não só atende a uma demanda de mercado, mas também reforça o compromisso com a igualdade e a inclusão, abrindo caminho

para futuras inovações, que beneficiem uma ampla gama de consumidores.

Agradecimentos

Agradecemos a receptividade dos dirigentes do Centro de Apoio a Deficientes Visuais de Poá, que permitiram visitas, entrevistas e coleta de informações necessárias para realização desse estudo. assim como a todos os entrevistados que gentilmente se voluntariaram a nos relatar experiências necessárias para este estudo.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050:** Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2021.

AVERY DENNISON. **Informativo**. [S.l.: s.n.], [s.d.]. Disponível em: <https://label.averydennison.com/content/dam/averydennison/lpm-responsive/latin-america/brazil-pt/documents/product-overviews/product/paper/premium-decorative-solutions/po-br-premium-decorative-solutions-embossing-pt.pdf>. Acesso em: 26 ago. 2025.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão. **Normas técnicas para a produção de textos em Braille**. 3. ed. Brasília, DF: MEC, 2018. 120 p. Elaboração: DOS SANTOS, Fernanda Christina; OLIVEIRA, Regina Fátima Caldeira de. Disponível em: <https://www.gov.br/ibc/pt-br/pesquisa-e-tecnologia/materiais-especializados-1/livros-em-braille-1/o-sistema-braille-arquivos/normas-tecnicas-para-a-producao-de-textos-em-braille-3a-edicao-2018-pdf.pdf/view>. Acesso em: 7 out. 2023.

BRASIL. Ministério da Educação. **Deficiência visual**. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/deficiencia-visual>. Acesso em: 17 out. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **13/12 – Dia do Cego**. Biblioteca Virtual em Saúde – BVS MS. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/13-12-dia-do-cego-4/>. Acesso em: 17 out. 2023.

FREITAS, Renata Oliveira Teixeira de. **Design de superfície:** ações comunicacionais táteis nos processos de criação. São Paulo: Blucher, 2012.

FUNDAÇÃO DORINA NOWILL PARA CEGOS. **O que é deficiência?** São Paulo: Fundação Dorina Nowill para Cegos, 2023. Disponível em: <https://fundacaodorina.org.br/a-fundacao/pessoas-cegas-e-com-baixa-visao/o-que-e-deficiencia/>. Acesso em: 17 out. 2023.

FUNDAÇÃO DORINA NOWILL PARA CEGOS. **A Deficiência.** São Paulo: Fundação Dorina Nowill para Cegos, 2024. Disponível em: <https://fundacaodorina.org.br/a-fundacao/a-deficiencia/>. Acesso em: 17 out. 2023

NEGRÃO, Celso; CAMARGO, Eleida. **Design de embalagem:** do marketing à produção. São Paulo: Novatec, 2007.

SCHWARTZ, Ada Raquel Doederlein. **Design de superfície:** por uma visão projetual geométrica e tridimensional. 2008. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

SILVA, Kelly Renata Lopes. **Desenvolvimento de etiqueta em braile, visando a autonomia e inclusão social de deficientes visuais.** 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Design) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5731/1/AP_COENT_2017_2_04.pdf. Acesso em: 29 out. 2023.

SPARAVIGNA, Amelia Carolina. *The Japanese art of using an inkless printing.* **Archaeogate**, v. 5, n. 21, p. 13, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322525103_The_Japanese_Art_of_Using_an_Inkless_Printing. Acesso em: 9 out. 2023.

VENTORINI, Silvia Elena. **A experiência como fator determinante na representação espacial do deficiente visual.** 2007. Dissertação (Mestrado em Psicologia do Desenvolvimento e Aprendizagem) – Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/94abf59c-8b52-4d47-b0de-3a8912fcc83c/content>. Acesso em: 8 out. 2023.

Comparativo entre telha cerâmica e telha isotérmica – análise de parâmetros para conforto térmico

Alex Sandro Pereira Bizerra (1); Antonio César Fávero Lopes (2);
Caio Aparecido Silva Nascimento (3); Paulo Sergio Gonzalez (4);
Samuel Castor da Mata(5)

Resumo

O conforto térmico em edificações tem sido fator de desempenho a ser considerado no projeto das obras, visando atender às necessidades dos usuários. A questão da temperatura ambiente em residências sempre constituiu problema a ser solucionado, em especial nas regiões Norte e Nordeste do país, onde a temperatura média anual, em algumas localidades, ultrapassa os 25°C. Este artigo analisou a telha isotérmica com núcleo de poliisocianurato - PIR, por meio de comparação com a telha cerâmica, utilizando parâmetros que influenciam o conforto térmico interno, tais como, tipologia e localização da edificação, sistema de cobertura, núcleo isolante e elementos de cobertura usuais. As propriedades térmicas, condutividade e coeficiente global de transmissão de calor foram abordadas com base em normas e catálogos técnicos, procurando evidenciar a diferença de desempenho entre a cerâmica e o PIR, destacando-se as vantagens para a sua aplicação e o ganho no conforto térmico. Em decorrência da análise aqui realizada, foi possível afirmar a viabilidade do emprego da telha isotérmica com o núcleo de PIR em casas de baixa renda.

Palavras-chave: Telha Isotérmica; Telha Cerâmica; Conforto Térmico.

1. Introdução

Na cobertura de residências, as temperaturas superficiais das telhas, resultantes da intensidade da incidência de radiação solar, exercem influência sobre o ganho de calor interno. Dessa forma, o desconforto térmico sempre foi problema a ser resolvido ou minimizado, especialmente em residências de baixo custo destinadas à população de baixa renda.

Conforto térmico pode ser entendido como a satisfação mental de temperatura propiciado por um ambiente às pessoas que nele

(1) aluno - alex.alvim@hotmail.com; (2) aluno - acesarfavero@gmail.com;

(3) aluno - caio.ap@hotmail.com; (4) aluno - psgoncalez@gmail.com;

(5) professor - samuel.mata@fatec.sp.gov.br

estão, por haver ali um equilíbrio entre as temperaturas frias e quentes, em que não se sinta nem muito frio e nem muito calor e não se tenha dificuldade para manter a temperatura interna do corpo (Thórus Engenharia, 2021). Dessa forma, é importante analisar a variação de temperatura que decorre da incidência de energia solar nesses ambientes.

A energia solar é composta por radiação infravermelha de onda curta. Ao incidir sobre telhados, parte dessa energia é refletida, parte absorvida e parte transmitida em quantidades que dependem das propriedades físicas dos materiais que as compõem. Outra parcela dessa energia é perdida por convecção e irradiação ao ambiente externo. A parcela incidente absorvida aquece as telhas, transferindo calor ao ambiente interno da edificação. Essa energia que chega ao interior é transferida por convecção e radiação até uma superfície qualquer (Castro, 2019).

Sendo assim, para reduzir a transferência de calor para o interior de uma instalação, é necessário instalar um material entre eles que apresente baixa condutividade térmica. Esse material, se utilizado corretamente, diminui o fluxo de calor que atravessa a instalação por condução, convecção e/ou radiação. Essa capacidade de reduzir as trocas de calor é função da resistência térmica que materiais isolantes proporcionam (Castro, 2019).

O uso de materiais que têm baixa emissividade e que refletem a maior parte da radiação incidente, como os metálicos, é outra forma de reduzir os ganhos térmicos provenientes da cobertura. De acordo com Castro (2019), esses materiais, na construção civil, geralmente são chamados de isolantes térmicos reflexivos ou de barreiras radiantes, pois dificultam a transferência do calor por radiação.

O uso da telha térmica, em especial da isotérmica, é alternativa para solucionar o problema de conforto térmico nas residências e tem se tornado tendência que vem crescendo no mercado. Aliado a design diferenciado, esse tipo de telha proporciona maior conforto térmico ao ambiente se comparado a outros.

As telhas isotérmicas geralmente são compostas por três camadas: chapa metálica, isolamento térmico e chapa metálica. Por isso, são também conhecidas comercialmente como termoacústica ou telha sanduíche. Os principais fabricantes produzem essas telhas com três tipos de isolante: a espuma de Poliuretano (PUR), a espuma de Poliisocianurato (PIR) e a espuma de Poliestireno Expandido (EPS), popularmente conhecido como Isopor.

A telha isotérmica é capaz de minimizar as trocas térmicas, isto é,

ela não permite que o calor externo aumente a temperatura interna. Esse material, portanto, deixa o ambiente interno mais agradável, bloqueando em até 95% o calor transmitido pela cobertura e reduzindo a temperatura interna em torno de 5°C. Com isso, diminui o consumo de energia elétrica gerado pelo uso de ar-condicionado e ventiladores, o que acarreta grande redução à conta de energia.

Outros pontos que contribuem para a relação custo-benefício favorável desse material são a facilidade de montagem e o tamanho maior das telhas, que podem vencer grandes vãos reduzindo em até 70% a estrutura da cobertura e a quantidade de emendas. Assim, elas se tornam boa opção quando a intenção é um cronograma de obras mais enxuto. São muito resistentes, duráveis e de manutenção simples.

Pretende-se neste trabalho comparar telhas cerâmicas e telhas isotérmicas, analisando parâmetros que influenciam a melhora do conforto térmico interno em residências destinadas à população de baixa renda. A comparação será feita entre a telha cerâmica tipo colonial e a telha isotérmica com núcleo de PIR.

Tendo em conta o conforto térmico, atualmente a telha com núcleo de PIR tem sido mais empregada, uma vez que possui eficiência térmica melhor que as telhas com núcleos de EPS e de PUR, além de não propagar chama, atendendo assim ao que preconiza o item 8.4.1 da norma ABNT NBR 15575-1:2013 que diz: “Os materiais de revestimento, acabamento e isolamento termoacústico empregados na face interna dos sistemas ou elementos que compõem a edificação devem ter as características de propagação de chamas controladas” (ABNT, 2013). O referido material atende também aos requisitos estabelecidos nas normas ABNT NBR 15220-3:2013, ABNT NBR 15575-5:2013 e ABNT NBR 9442:2019.

2. Referencial Teórico

Conhecer o desempenho térmico de materiais para especificar o tipo de vedação de um projeto influenciará enormemente no desempenho térmico e no consumo energético futuro da edificação (Ca2, 2021).

As telhas cerâmicas são muito utilizadas em coberturas de edificações residenciais em todo o país. Telhados com uso de telhas cerâmicas proporcionam conforto térmico, além de conferir beleza às residências e eficiência na vedação do telhado. Também conhecidas como “telhas de barro”, podem ser naturais ou esmaltadas, sendo

essas últimas mais indicadas quando se busca maior impermeabilidade.

Entre os tipos de telhas cerâmicas, a Colonial Capa Canal (Figura 1) é a mais antiga e tem sido preponderante na cobertura de casas de baixo custo, principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil.

Introduzida pelos portugueses no século XVI, é caracterizada por possuir capa e canal idênticos. Como principais desvantagens destacam-se: a alta porosidade; a permeabilidade maior por unidade de área, que pode variar dependendo do tipo de argila utilizada no processo de fabricação; a penetração de água entre telhas, decorrente de mau encaixe entre as peças, que em dias chuvosos podem conduzir água para o interior da edificação; o alto custo de instalação, devido à quantidade de madeiramento necessário para o apoio das telhas; e o elevado tempo de colocação das mesmas, já que esse tipo de telha requer até 25 peças por metro quadrado.

Figura 1 – Telhas cerâmicas tipo Colonial Capa Canal



Fonte: La Cobertura, 2021

Em sua grande maioria, as moradias para a população de baixa renda têm coberturas em telhas cerâmicas, material que proporciona certo conforto térmico interno para o ambiente. Conforme Bueno (1994), em dias muito quentes, a temperatura interna chega a ficar 5°C mais alta que a temperatura externa, o que não atende o item 11.3.1 da ABNT NBR 15575-1:2013, que preconiza:

“O valor máximo diário da temperatura do ar interior de recintos de permanência prolongada, como salas e dormitórios, sem a presença de fontes internas de calor

(ocupantes, lâmpadas, outros equipamentos em geral), deve ser sempre menor ou igual ao valor máximo diário da temperatura de ar exterior”.

Conforme Scarelli (2017), é preciso considerar o ganho térmico com a utilização de telhas isotérmicas em habitações para baixa renda. Seu resultado é inegável, podendo atingir de 19% a 25% para temperaturas das telhas inferiores a 60°C.

Levando em consideração o zoneamento bioclimático brasileiro, segundo a norma ABNT NBR 15220-3:2013, Peralta (2006) diz que a exposição média das coberturas de residências chega a ter até 12 horas por dia de radiação solar, o que corresponde a 72,3% de toda carga térmica recebida por uma edificação térrea isolada no Brasil.

Quanto ao desempenho térmico, a ABNT NBR 15575:2013, em suas Tabelas 2 e 3, estabelece para as Zonas Bioclimáticas 7 e 8 que, no verão, a temperatura interna máxima deve ser menor ou igual à temperatura externa máxima.

Por essa e outras razões, o uso das telhas isotérmicas está em franca ascendência, pois elas apresentam muitas vantagens em relação aos outros materiais de cobertura, tais como:

- Isolantes térmicos e acústicos (núcleos) retardantes de chamas (autoextinguíveis) ou ainda, em alguns casos, resistentes ao fogo;
- Auxílio para reduzir o consumo de energia elétrica com ar-condicionado e demais equipamentos de refrigeração reduzido;
- Parte interna da telha com acabamento de forro, que dispensa a necessidade de laje e de outro forro;
- Pequenas aberturas para ventilação;
- Capacidade de reduzir significativamente os ruídos externos;
- Estrutura de sustentação da cobertura que permite economia;
- Custo-benefício melhor do que os demais modelos;
- Leveza, presente em alguns modelos;
- Facilidade na instalação;
- Montagem fácil, rápida e limpa;
- Excelente vedação e acabamento;
- Impermeabilidade, evitando o surgimento de mofo;
- Grande durabilidade em regiões com maresia, sendo

resistentes à corrosão;

- Grande resistência contra o ataque de animais roedores, insetos e fungos;
- Possibilidade de aplicação para fechamentos laterais;
- Resistência, pois não quebram com facilidade;
- Exclusividade, porque são feitas sob medida;
- Sustentáveis.

As telhas isotérmicas podem apresentar em sua composição núcleos de EPS, PUR, PIR e lã de rocha. O poliisocianurato (PIR) é um polímero termoendurecível de células fechadas formado pela reação de um di- ou poli-isocianato com um polioli. A condutividade térmica pode ser menor que a da espuma de poliuretano (PUR).

Espuma de PIR é normalmente usada em painéis de face metálica, placas de teto, placas de parede de cavidades e isolamento de tubos. Os painéis de espuma PIR laminados com papel de alumínio puro em relevo são usados para a fabricação de dutos pré-isolados que são aplicados em sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado. O PIR não pode, no entanto, ser usado para isolar as paredes das cavidades existentes, pois não há espuma de PIR que possa ser injetada nas paredes existentes. Quanto à estabilidade térmica e resistência à inflamabilidade, é melhor do que a espuma de poliuretano.

A telha isotérmica hoje fabricada para uso residencial repete o perfil de telha colonial, deixando a impressão, para quem olha de certa distância, que são telhas de cerâmica comuns. São fabricadas pela Kingspan Isoeste na cor Marrom Alaranjado (código RAL 8023) que se assemelha à de telha cerâmica. Tem largura padrão de 1.000 mm e várias medidas de comprimento, que vão de 1.750mm até 7.350mm. Seu revestimento externo superior é de chapa de aço Galvalume pré-pintada, com espessura de 0,43mm, cromatizada com primer epóxi (4 a 6 microns), acabamento com pintura em poliéster (18 a 22 microns). Já o revestimento inferior é em chapa de aço Galvalume, com espessura de 0,38mm, cromatizada com primer epóxi (4 a 6 microns) (Kingspan Isoeste, 2019).

O uso de telha isotérmica com núcleo de PIR permite diminuição de até 30% no coeficiente global de transmissão de calor que penetra nos ambientes internos por meio das coberturas, redução essa em relação ao núcleo de EPS, que hoje é o mais comumente utilizado em telhas isotérmicas. Para temperaturas de 60°C a 65°C na superfície superior das telhas, essa diminuição varia entre 19% e 25% para temperaturas inferiores a 60°C (Scarelli, 2017).

3. Metodologia

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho consiste na comparação das propriedades térmicas das telhas cerâmica tipo colonial e isotérmica, tendo apenas os índices de transmissão de calor como fator de comparação.

Dividiu-se o estudo em quatro etapas: (1) escolha da tipologia e localização da edificação; (2) escolha do sistema de cobertura; (3) escolha do núcleo isolante utilizado nos elementos de cobertura; e (4) análise comparativa entre a telha isotérmica e a telha cerâmica do tipo colonial, elemento de cobertura até então comumente utilizado nas regiões Norte e Nordeste do país.

3.1. Tipologia e localização da edificação

Destinado à população de baixa renda, o modelo de edificação é do tipo residência térrea unifamiliar com até 50 m² de área construída, com cobertura em duas águas, sem forro e com aberturas pequenas para ventilação, como mostra a Figura 2. Está localizado na zona bioclimática 7 do Brasil e atende ao preconizado no item 6.7 da ABNT NBR-15220-3/2013, exceto o quesito cobertura da tabela 20, por se tratar de uma cobertura leve.

Figura 2 – Casas de baixa renda

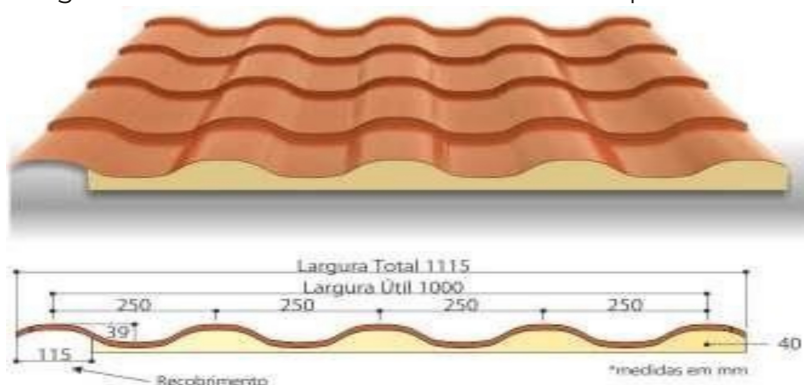


Fonte: CBIC, 2021

3.2. Sistema de cobertura

O modelo de telhas isotérmicas adotado é do tipo colonial, conforme Figura 3, com núcleo de PIR, tendo as dimensões: largura útil de 1.000mm e comprimentos de 1.750mm até 7.350mm, todas com espessura de 40mm. As telhas são apoiadas em estrutura de madeira tratada, com vãos máximos de 1.750mm entre apoios e inclinação mínima recomendada de 15% para coberturas com comprimento da água de no máximo 14,7 metros, conforme Manual de Instalação Isotelha Colonial (Kingspan Isoeste, 2019).

Figura 3 – Detalhe de uma telha isotérmica tipo Colonial

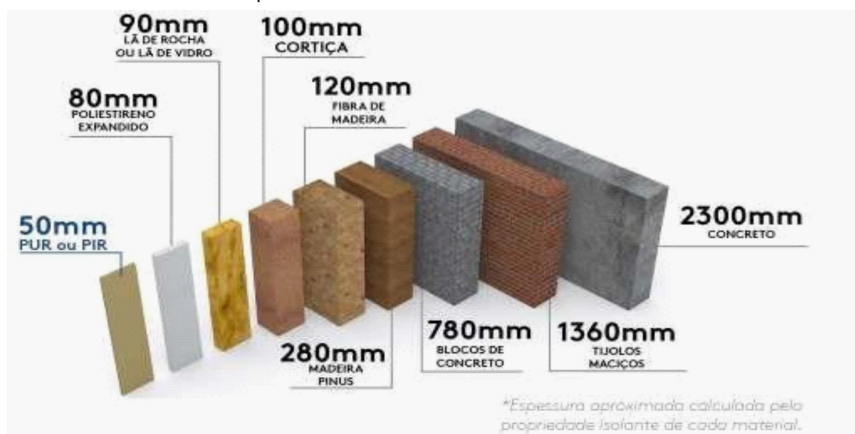


Fonte: All.Biz, 2021

3.3. Núcleo isolante

Existem vários materiais que podem ser utilizados como núcleo isolante em telhas isotérmicas. Na Figura 4 são apresentados os possíveis materiais e as respectivas espessuras necessárias para que se obtenha o mesmo resultado no que se refere à transmissão de calor.

Figura 4: Comparativo entre as espessuras de alguns materiais em relação à espuma de PIR para o mesmo isolamento térmico



Fonte: Kingspan Isoeste, 2021

Por sua eficiência térmica e por ser resistente à chama, o tipo de núcleo isolante adotado foi o de PIR, ou espuma de PIR, que é muito semelhante à espuma de poliuretano, com espessura de 40mm.

O Poliisocianurato – PIR é basicamente o Poliuretano – PU modificado, com um índice de isocianato acima da quantidade equivalente exigida. O excesso de isocianato no Poliisocianurato – PIR, na presença de catalisadores especiais, reage consigo mesmo, produzindo cadeias mais fortes de isocianurato do que as ligações normais de uretano, o que caracteriza uma espuma química e termicamente mais estável que o Poliuretano – PU.

O Poliisocianurato – PIR oferece vantagens exclusivas que garantem sua composição, otimização ainda maior no isolamento térmico, resistência a reações do fogo e melhores níveis de desempenho. Também conta com os benefícios presentes no Poliuretano – PU, como o peso, a força estrutural, a adesão a superfícies de metal e o isolamento térmico e acústico.

O processo de produção de telhas isotérmicas com núcleo em PIR é totalmente automatizado, o que garante uniformidade e densidade padronizada. Essas telhas podem ser aplicadas em obras residenciais, comerciais ou industriais e possuem maior resistência ao ataque de roedores, insetos e fungos devido à propriedade antifúngica e antipesticida do material. Isso garante durabilidade maior também em locais de climas úmidos e maresia.

Além dos benefícios de isolamento térmico e acústico aliados à durabilidade, esse tipo de telha possui seguro mais barato comparado a outros revestimentos utilizados na obra. Essas características fazem que o PIR seja indicado para várias aplicações em construções de pequeno ou grande porte, trazendo ótimos resultados (TERMOVALE, 2021).

3.4. Análise comparativa com elemento de cobertura comumente utilizado

Os parâmetros adotados para efeito de comparação entre os elementos de cobertura comumente utilizados (telha cerâmica colonial) e as telhas isotérmicas foram a condutividade térmica e o coeficiente global de transmissão de calor “U”.

A norma de desempenho ABNT NBR 15.575:2013 para os requisitos técnicos traz regras para o valor U. Para desempenho térmico, essa norma especifica o método simplificado ou prescritivo, que

basicamente informa qual é o valor “U” ou o coeficiente global de transmissão de calor máximo para um determinado elemento da construção (Ca2, 2021).

Ainda segundo Ca2 (2021), o coeficiente global de transmissão de calor, ou valor “U” de um componente construtivo é o quanto ele conduz de calor de uma face do elemento (telha, parede etc.) até a outra face. A transferência de calor ocorrerá por condução toda vez que houver diferença de temperatura entre a face interna e a face externa. Esse coeficiente é definido pelo U *value*, que é dado em Watts dividido por metro ao quadrado multiplicado por Kelvin:

$$\left(U = \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)^{10} \quad (\text{Eq. 1})$$

Quanto maior esse valor, mais calor é transmitido entre as faces do componente construtivo.

A condutividade térmica é a característica física de um material que determina sua capacidade de se deixar atravessar com maior ou menor facilidade por um fluxo de calor. A condutividade térmica varia de acordo com algumas propriedades dos materiais, tais como, densidade, porosidade, temperatura e umidade (Castro, 2019).

Franco (2021) diz que o valor U depende da resistência térmica de cada um dos elementos que compõem a superfície (percentual em que um elemento construtivo se opõe à passagem de calor), e isso, em particular, obedece à espessura de cada camada e sua condutividade térmica (capacidade que cada material possui de conduzir o calor).

Para Castro (2019), a condutividade térmica refere-se à característica do material que determina sua capacidade de se deixar atravessar com maior ou menor facilidade por um fluxo de calor. Consiste numa grandeza física que mede a capacidade de uma substância conduzir o calor e representa a taxa temporal de transmissão de energia, sob a forma de calor, através do material. Ainda segundo Castro (2019), essa grandeza varia de acordo com algumas propriedades dos materiais, tais como, densidade, porosidade, temperatura e umidade. Exprime-se no Sistema Internacional (SI) em Watt dividido por metro e multiplicado por Kelvin. Quanto maior esse valor, mais calor é conduzido por essa substância.

$$\left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right) \quad (\text{Eq. 2})$$

Considerando os parâmetros expostos, as coberturas utilizadas até o momento nas regiões em estudo são de telha cerâmica tipo

colonial, que tem condutividade térmica de $1,05\text{W/m}^*\text{K}$, conforme Tabela D-1, do Anexo D da ABNT NBR 15.220-3:2005, e coeficiente global de transmissão de calor “U” de $4,55\text{W/m}^2*\text{K}$, conforme Tabela D-4 do Anexo D da NBR-15.220: 2005.

Para a telha isotérmica com núcleo de espuma de PIR, a condutividade térmica é de $0,022\text{W/m}^*\text{K}$, e o coeficiente global de transmissão de calor “U” é de $0,50\text{W/m}^2*\text{K}$ (Kingspan Isoeste, 2021). Os respectivos valores são apresentados na Tabela 1 para melhor comparação.

Tabela 1 - Comparativo entre telha cerâmica em relação à núcleo de espuma de PIR

Características Térmicas	Tipo de Telha	
	Cerâmica	Isotérmica c/ núcleo de PIR
Condutividade Térmica ($\text{W/m}^*\text{K}$)	1,05	0,022
Coeficiente Global de Transmissão de calor		
($\text{W/m}^2 * \text{K}$)	4,55	0,5

Fonte: Autores, 2021

4. Resultados e Discussão

Conforme os dados apresentados na Tabela 1, verifica-se que os valores das grandezas analisadas para os dois tipos de telhas estão bem distantes entre si. Isso confirma o fato de que tais parâmetros variam de acordo com a natureza dos materiais constituintes.

Em relação ao parâmetro condutividade térmica, nota-se que o valor apresentado pela telha cerâmica é aproximadamente 47 vezes maior que o da telha isotérmica. Isso equivale a uma redução de cerca de 98% na condução de calor das coberturas que utilizam a telha isotérmica em vez da telha cerâmica.

Já em relação ao parâmetro coeficiente global de transmissão de calor, verifica-se que na telha cerâmica esse coeficiente é aproximadamente 8 vezes maior que o da telha isotérmica, o que equivale a uma redução de 89% de transferência de calor para o interior do ambiente com o emprego da telha isotérmica, em relação à telha cerâmica, confirmando-se assim que a primeira apresenta melhor isolamento térmico.

5. Considerações finais

Verifica-se, pelos resultados apresentados, que a telha isotérmica com PIR, segundo os dois parâmetros analisados, mais especificamente o coeficiente global de transmissão de calor, mostra-se quase dez vezes mais eficiente que a telha cerâmica, no que se refere à transferência de calor entre as duas faces do componente construtivo.

Embora as telhas cerâmicas apresentem boas condições de isolamento térmico, as telhas isotérmicas são modelos de cobertura que vêm se destacando por sua grande vantagem de amenizar a transferência de calor para o interior das residências devido a altos gradientes de temperaturas a que podem estar submetidas. É, portanto, excelente solução de cobertura, conforme as vantagens e benefícios indicados neste estudo.

Em especial, a telha isotérmica com núcleo em PIR se destaca por ter boa resistência mecânica, sendo essa uma de suas características principais, por ter carga admissível de até 80kg/m^2 . Assim pode ser considerada autoportante. Por suportar naturalmente exposição a diversos tipos de solicitações térmicas e mecânicas, sua vida útil tende a ser mais extensa do que a das telhas convencionais.

Reafirma-se, portanto, por meio dos parâmetros analisados, que de fato a telha isotérmica possui melhor desempenho térmico que a de cerâmica, contribuindo, portanto, para maior conforto térmico das edificações, principalmente nas regiões mais quentes do país.

É importante destacar que o uso das telhas isotérmicas em residências de baixa renda está vinculado diretamente ao projeto que define exatamente os parâmetros de desempenho de conforto térmico que se deseja obter, além de diretrizes para correta instalação, levando-se em consideração as características das telhas fornecidas pelos fabricantes.

Ressalta-se que no estudo realizado não foram considerados os custos de aquisição e de instalação, bem como a permeabilidade de cada tipo de cobertura. Priorizou-se demonstrar a importância de atentar-se ao mercado e enxergar novas oportunidades construtivas que possam melhorar e até mesmo substituir soluções que sempre foram utilizadas.

Ainda que o principal parâmetro analisado esteja relacionado com o conforto térmico, é importante citar que existem outros fatores, como a resistência mecânica, por exemplo, que podem elevar as vantagens na utilização do PIR.

6. Referências

ALL.BIZ. **Isotelha Colonial**. Disponível em: <https://all.biz/br-pt/isotelha-colonial-g74272>. Acesso em 02 set.2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais-Desempenho parte 1. 4 ed. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais-Desempenho parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9442**: Materiais de construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante. Rio de Janeiro, 2019.

BUENO, André Duarte. **Transferência de calor e umidade em telhas**. 1994. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 1994. Cap.1.

CA2. Consultores Ambientais Associados. **Transmitância térmica - desempenho térmico de edificações**. Disponível em <https://ca2.com/desempenho-termico-de-edificacoes/>. Acesso em: 10 nov. 2021.

CASTRO, Ariane Cristina de. **Avaliação da eficiência térmica de materiais utilizados como sistemas de cobertura em instalações avícolas**. 2019. Disponível em: <https://pt.engormix.com/avicultura/artigos/avaliacao-eficienciatermica-materiais-t37604.htm>. Acesso em: 10 nov. 2021.

CBIC. **MCMV**: moradia digna e qualidade de vida para a população de baixa renda. Disponível em: <https://cbic.org.br/industriaimobiliaria/2019/03/21/mcmvmoradia-digna-e-qualidade-de-vida-para-a-populacao-de-baixa-renda/>. Acesso em: 21 nov. 2021.

FRANCO, José Tomás. **Transmitância térmica** - Desempenho término de edificações. Traduzido por Eduardo Souza. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/899167/como-calculer-a-transmitancia->

[termicavalor-u-na-envoltoria-de-um-edificio](#). Acesso em: 20 nov. 2021.

KINGSPAN ISOESTE. **Manual de instalação isotelha colonial**. Anápolis: Kingspan Isoeste, 2019. Versão 02, 19p.

LA COBERTURA. **Telha Cerâmica Vermelha**. Disponível em: <https://www.lacobertura.com.br/telha-ceramica-vermelha>. Acesso em: 21 nov. 2021.

PERALTA, Gizele. **Desempenho térmico de telhas**: análise de monitoramento e normalização específica. 2006. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SCARELLI, Vitor Dias. **Avaliação comparativa da eficiência térmica de núcleos isolantes de telha termoacústicas em edificações na região de Campo Mourão**. 2017. 1 v. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal de Campo Mourão, Campo Mourão, 2017.

TERMOVALE. **Telhas Termoacústicas com PU/PIR (Poliuretano – Poliisocianurato)**. Disponível em: <https://www.termovale.com.br/pt-br/telhatermoacustica-com-pupir-poliuretano-poliisocianurato>. Acesso em: 17 nov. 2021.

THÓRUS ENGENHARIA. **Conforto Térmico na Arquitetura**: o que é e como garanti-lo. Disponível em: <https://thorusengenharia.com.br/conforto-termico-na-arquitetura/>. Acesso em: 17 nov. 2021.

Estudo Comparativo de Pavimento Permeável com Análise Experimental

Gabriella Barboza Camacho (1); Mauricio Camacho (2);
Márcia Freitas Abad Gonzaga (3)

Resumo

Pavimentos permeáveis surgem como uma alternativa de pavimentação que poderá contribuir para a sustentabilidade urbana como técnica capaz de prevenir enchentes, com aplicação em pavimentos que exigem menor resistência mecânica, compatível com o tráfego em calçadas e em ciclovias. Este estudo teve o propósito de realizar o levantamento dos parâmetros hidráulicos para a determinação de permeabilidades e de resistência mecânica, os quais demonstram a viabilidade do pavimento de concreto permeável. Adotou-se como procedimento para o estudo as pesquisas bibliográfica e experimental com abordagem quantitativa. Os ensaios experimentais foram realizados em laboratório de materiais de construção civil para determinar os parâmetros: finos, granulometria, taxa de infiltração e resistência à compressão em corpos de provas com traços diferentes, obtendo-se o seguinte resultado: brita zero (menor resistência à compressão e maior permeabilidade) e RCD (maior resistência e menor permeabilidade). O concreto permeável agrega fatores positivos como a preservação dos lençóis freáticos, a prevenção de enchentes e a diminuição na perda de materiais.

Palavras-chave: Permeabilidade; Concreto poroso; Pavimentação; Enchentes; Drenagem urbana.

Introdução

Desde as antigas civilizações é notória a importância da criação de estradas e vias para melhorar a mobilidade com o objetivo de promover o comércio e economizar tempo.

A construção de vias surgiu, então, proporcionando rotas mais seguras para o tráfego de pessoas e mercadorias e, com o passar do tempo, as técnicas de construção foram se desenvolvendo e

(1) aluna - gabriella.bzcamacho@gmail.com; (2) aluno - mamaucamacho370@gmail.com;
(3) professora - marcia.gonzaga@fatec.sp.gov.br

aperfeiçoando (Bernucci *et al.*, 2010, p. 11).

Os primórdios da pavimentação ocorreram na era egípcia (2600 – 2400 a. C.), sendo essa a primeira civilização a dar início à construção de vias e caminhos com o auxílio de drenos para captação de água, delimitando assim o começo do que hoje se conhece como pavimentação (Bernucci *et al.*, 2010, p. 11).

Com o desenvolvimento populacional e urbano, tornou-se imprescindível o avanço da infraestrutura e estudos científicos para a evolução da pavimentação, aperfeiçoando a mobilidade, o conforto e abrangendo as mais diversas áreas territoriais.

A engenharia busca apresentar uma opção de melhoria da infraestrutura indicando os pavimentos permeáveis em substituição a grandes áreas impermeáveis nas cidades. Recurso para o alcance da sustentabilidade urbana, o pavimento permeável permite a infiltração da água em momentos de precipitação, evitando que a água da chuva siga escoando pela superfície e acumule-se em grandes volumes, causando prejuízos à população, tais como enchentes, perdas materiais, riscos à saúde pública e danos ambientais.

O presente estudo tem como propósito realizar o levantamento de parâmetros hidráulicos que determinam permeabilidades e ensaios mecânicos para definição de resistência à compressão, os quais apontam a viabilidade do pavimento de concreto permeável como solução de problemas estruturais gerados pelo desenfreado crescimento e desenvolvimento populacional.

Os ensaios realizados visam compreender as propriedades do concreto, os materiais de composição, porosidade, dando ênfase à sua flexibilidade e resistência à tração e compressão. Com os resultados coletados será realizada uma análise comparativa entre os traços executados com brita e com Resíduo de Construção Civil (RCD) - resíduos de construção e demolição. São analisadas a resistência mecânica e permeabilidade para determinar se o traço escolhido alcança o equilíbrio necessário dentro das propriedades e normas requeridas.

Referencial Teórico

2.1 Concreto permeável

Segundo Guidotti (2019, p. 62), o “concreto permeável é uma mistura de cimento Portland, agregado graúdo uniforme, uma

pequena quantidade ou nenhuma de agregado fino e água”. Pode ser chamado de “poroso” ou “sem finos” devido aos altos índices de vazios que variam entre 15 a 25%, permitindo a passagem de água para o subleito. Esse revestimento suporta as movimentações de cargas moderadas devido à baixa resistência à compressão. Desse modo, ele pode ser usado em tráfego leve, como estradas residenciais, becos, calçadas e estacionamentos. Sua principal finalidade é a captação de água, diminuindo os riscos de aquaplanagem, evitando formação de bacias e reduzindo a lâmina de água disposta sobre a superfície, aumentando o atrito entre o pneu e o pavimento.

Balbo (2020) apresenta estudo que toma a norma ABNT NBR 16416:2015, dirigida a pavimentos permeáveis de concreto. Os ensaios *slump test* realizados para determinar a consistência do material não demonstraram grandes variações de resultado, uma vez que o concreto em estudo não apresentava finos na composição, traços que são extremamente secos. O revestimento permeável difere-se do convencional por diversos motivos: resistência mecânica, permeabilidade, trabalhabilidade, propriedades físicas e execução. Isso se aplica às estruturas do pavimento, como mostra o Quadro 1. Observa-se que para a realização de um calçamento permeável é necessária a utilização de: manta de polietileno, manta geotêxtil e drenos. Normalmente bocas de lobo e sarjetas são empregadas para a captação das águas pluviais, mesmo sendo insuficientes.

Quadro 1 – Emprego de equipamentos típicos de drenagem em vias pavimentadas

Elementos de pavimentação e drenagem	Pavimentos convencionais	Pavimentos ou calçamentos permeáveis	Observações
Revestimento	Sim	Sim	-
Base permeável	Incomum	Sim	-
Manta de polietileno	Não	Sim	Se para coletas d'água
Manta geotêxtil	Não	Sim	Se para filtragem ou isolamento
Bocas de lobo e bocas de leão	Sim	Redução ao menos expressiva	-
Tubos condutores convencionais	Sim	Redução ao menos expressiva	-
Drenos subsuperficiais	Às vezes	Sim ou não	Quando a base é caixa de acúmulo para a coleta com tubos perfurados
Tubulação de condução de águas pluviais	Sim	Redução ao menos expressiva	-
Sarjetas	Sim	Normalmente não	-

Fonte: Balbo, 2020, s/p

A seguir, o quadro 2 refere estudos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – EPA (EPA, 2016 *apud* Balbo, 2020) com pavimentos permeáveis de concreto e asfalto, onde foram analisados: taxa de infiltração; qualidade da água; efeitos em ilhas de calor; efeitos em manutenção das estruturas; intercorrência de serviços; e parâmetros sobre infiltração de água.

Quadro 2 – Resultados obtidos com pavimentos permeáveis no experimento da EPA

Objetivo da monitoração	Parâmetros coletados	Resultados chaves
Desempenho hidrológico	Volume, taxa de embebição, taxa de infiltração	• Concreto permeável possui a maior taxa de infiltração • Concreto asfáltico poroso possui a menor taxa de infiltração • Taxas de infiltração diminuem à medida que a espessura aumenta
Desempenho da qualidade da água	Sólidos, organismos, metais pesados, nutrientes, componentes orgânicos semivoláteis	• Pavimentos permeáveis não reduzem o nitrogênio total • Concentração de nitrogênio total infiltrada em concreto asfáltico porosos era maior do que da chuva em comparação aos demais revestimentos • Concentração de ortofosfatos (indicador de excesso de fósforo) no sistema de concreto asfáltico poroso era menor que a água da chuva e naquelas escoadas nos pavimentos de concretos permeáveis
Efeito em ilhas de calor urbano	Radiação bruta, radiação infravermelha, temperaturas	• 5% a 7% dos infiltrados evaporava, o que possivelmente auxilia a mitigar os efeitos de ilhas de calor
Efeitos em manutenção das estruturas	Taxa de infiltração superficial, avaliação visual	• Os instrumentos monitoravam a obstrução da superfície e a capacidade de infiltração, fornecendo informações sobre quando serviços de manutenção seriam necessários • O entupimento das superfícies ocorre com o tempo, à medida que sedimentos presentes no escoamento bloqueiam (entopem) os caminhos de infiltração e reduzem as taxas de infiltração
Uso e serviço	Avaliação visual	• A decomposição do pavimento de concreto permeável (desgastes e desprendimento) começou a ocorrer após cinco anos
Parâmetros sobre infiltração d'água	Nível da água redox, pH, condutividade hidráulica, cloretos	• O cloreto é retido no pavimento e levado ao longo do tempo, persistindo durante mais tempo no concreto asfáltico poroso e sendo liberado mais rapidamente no concreto permeável • A água da chuva ácida tornou-se básica à medida que se infiltrava em cada camada de pavimento permeável; a água infiltrada no concreto asfáltico poroso apresenta pH mais elevado

Fonte: Balbo, 2020

Observa-se no quadro 2 que o concreto permeável possui maior taxa de infiltração comparado com o pavimento permeável asfáltico.

Nos resultados obtidos, entende-se que os pavimentos permeáveis podem mitigar os efeitos das ilhas de calor, como também mudar o pH da água à medida que ela infiltra nas camadas da estrutura. O entupimento nos poros pode causar a redução da taxa de infiltração e, conseqüentemente, será necessária a manutenção frequente do pavimento com a limpeza com jatos de água com pressão, como caminhão de hidrojateamento, ou mesmo refazendo o revestimento permeável periodicamente.

Além da capacidade de infiltração que o pavimento permeável proporciona, deve-se considerar a capacidade de filtração da água de chuva por esse pavimento, como levantado por Brattebo e Booth (2013). Experimentos realizados para determinar a qualidade da água da chuva coletada mostraram que boa parte das águas pluviais apresentavam componentes tóxicos com o decorrer do tempo, por causa do desgaste do pavimento poroso e do entupimento dos vazios. De acordo com os autores: amostras de água infiltrada não continham nem chumbo, nem óleo diesel; a concentração de alguns componentes varia em períodos de 5 anos, alguns aumentam, outros diminuem e outros ainda se mantêm estáveis; houve notável aumento das concentrações de zinco em amostras de água escoada e infiltrada (Brattebo e Booth, 2013).

2.2 Permeabilidade do solo

A água ocupa a maior parte ou a totalidade dos vazios, estando livre para fluir através de poros interligados entre as partículas sólidas. Esse acontecimento chama-se percolação. A permeabilidade depende do tipo de solo, sua estrutura e consistência. O que define o coeficiente de permeabilidade são os finos do solo e não a predominância do tamanho de grãos (Pinto, 2006).

Em solos que apresentam o coeficiente de permeabilidade $>10^{-3}$ (Quadro 3), como pedregulhos e areias, as águas pluviais podem ser enviadas diretamente para o subleito ou pode-se utilizar a manta geotêxtil e drenos para fazer uma captação parcial. Nos demais, é indicada a utilização de mantas impermeáveis e drenos para armazenamento, para evitar possíveis patologias.

Quadro 3 – Coeficientes de permeabilidade do solo

Permeabilidade		Tipos de solo	k (cm/s)
Solos permeáveis	Alta	Pedregulhos	>10 ⁻³
	Alta	Areias	10 ⁻³ a 10 ⁻⁵
	Baixa	Siltes e argilas	10 ⁻⁵ a 10 ⁻⁷
Solos impermeáveis	Muito baixa	Argilas	10 ⁻⁷ a 10 ⁻⁹
	Baixíssima	Argilas	<10 ⁻⁹

Fonte: Adaptado de Pinto, 2006

Não é indicada a utilização de concreto poroso em solos moles como areias muito finas ou argilas com alto índice de plasticidade, pois ele recebe as cargas verticais e distribui para o subleito, que está suscetível a afundamento, podendo ocasionar trincas e fissuras no pavimento (Balbo, 2020).

2.3 Custo

O custo-benefício do pavimento permeável é um fator a ser levado em consideração. Na Tabela 1, observa-se o custo em R\$/m² (ano-referência 2020). Essa tabela permite verificar o concreto permeável 25% maior que o concreto simples e com uma vida estimada menor que o concreto simples, assim como a camada porosa de atrito e o bloco permeável. Portanto, quanto maior for a permeabilidade, maior será o valor para a instalação e menor a vida útil do material, sendo uma desvantagem a utilização desse pavimento em termos de custo-benefício.

Tabela 1 – Custo e durabilidades esperados para pavimentos novos

Tipo básico de pavimento	Materiais	Custo (R\$/m ²)	Vida estimada (anos)
Asfalto convencional	Mistura asfáltica a quente	4,50 – 65,00	7 – 20
De concreto convencional	Concreto simples	13,00 – 194,00	15 – 35
Permeável	Camada porosa de atrito	86,00 – 108,00	7 – 10
	Concretos permeáveis	215,00 – 269,00	15 – 20
	Blocos permeáveis	215,00 – 430,00	>20
Permeável (furado) com vegetação	Bloco com grama	65,00 – 248,00	>10

Fonte: Balbo, 2020

2.4 Manutenção

O concreto permeável recém-construído possui uma taxa de infiltração maior que a percolação do solo. Com o passar do tempo a taxa diminui devido à obstrução dos poros, pelo excesso de sedimentos. Assim, é necessária a realização de manutenções frequentes. As mais indicadas são: a lavagem sob pressão, a aspiração ou ainda uma combinação dos dois métodos, para a recuperação da permeabilidade. Segundo Carls *et al.* (2018) os equipamentos eficazes na remoção de materiais no pavimento permeável foram o caminhão a vácuo com mangueira de sucção, caminhão com varredor e varredor com ar regenerativo.

Método

A metodologia de pesquisa envolveu as pesquisas bibliográfica e experimental com abordagem quantitativa. A revisão bibliográfica, que embasou a fundamentação teórica, foi reunida a partir de artigos científicos e dissertações disponíveis no Google Acadêmico, contemplando as palavras-chave pavimento permeável publicados no período de 2010 a 2021. Tomaram-se também normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), vinculado ao Ministério da Infraestrutura, norma da Sociedade Americana de Testes e Materiais, denominada American Society for Testing and Material (ASTM) e livros acadêmicos de autores de referência como Balbo (2020) e Bernucci *et al* (2010).

Quanto à pesquisa experimental, foram realizados ensaios destrutivos e não destrutivos no Laboratório de Materiais da Fatec Tatuapé Victor Civita, objetivando-se coletar dados para análise e interpretação. Para cada traço, foram moldados, de acordo com a ABNT NBR 5738:2016, 10 corpos de prova cilíndricos (10cmx20cm) e 1 placa (50cmx50cmx5cm), conforme apresentado na Tabela 2. A dosagem do concreto foi estabelecida tendo como referência Batezini (2013) quanto ao indicativo de limites de fator água/cimento, granulometria dos agregados e consumo de cimento, que caracterizam o pavimento de concreto permeável.

Tabela 2 – Consumo do traço com brita 0 e agregado reciclado

Materiais	Traço: 1;0;4;0,3	Traço: 1;0;2,67;0,33
CP V ARI	9,62 kg	13,33 kg
Brita 0	38,50 kg	-
RCD	-	35,59 kg
Água	2,89 l	4,40 l
Relação Água / Cimento	0,3	0,33
Super plastificante	1% em relação ao consumo de cimento	1% em relação ao consumo de cimento

Fonte: Os autores, 2022

As britas não foram lavadas, como sugere Balbo (2020), devido à falta de equipamentos. Para um melhor controle das propriedades, os pedriscos foram secos naturalmente para evitar excesso de água no concreto que interfere na relação água/cimento.

Os principais ensaios para determinação dos parâmetros mecânicos e hidráulicos do concreto poroso estão apresentados no quadro 4.

Quadro 4 – Especificação dos ensaios e suas respectivas normas técnicas

Tipo	Ensaio	Normas	Corpo de prova
Mecânicos	Resistência à compressão	NBR 5739 (ABNT, 2007)	6 Cilindros (10x20 cm)
Hidráulicos	Determinação do coeficiente de permeabilidade	ASTM C1701 (ASTM, 2009) *	1 Placa (50x50x5 cm)
*Ensaio adaptado			

Fonte: Os autores, 2022

3.1 Determinação dos finos - ABNT NBR 46:2006

Conforme a norma referida, secou-se a amostra de pedrisco na estufa sob a temperatura de 110°C. Depois de 24 horas, separou-se 1000g que foram colocados em um recipiente com adição de água até cobrir toda a superfície (figura 1a). Esse material foi agitado até separar as partículas finas e, por fim, despejado em uma peneira com malha de 4,75mm e 75µm (figura 1b). O procedimento foi repetido até a água da lavagem ficar transparente. Novamente as pedras secaram na estufa e pesou-se para determinar a massa sem finos (figura 1c). A

fórmula para determinar a quantidade de finos é:

$$m = \frac{(m_i - m_f)}{m_i \cdot 100} \quad (\text{Eq. 1})$$

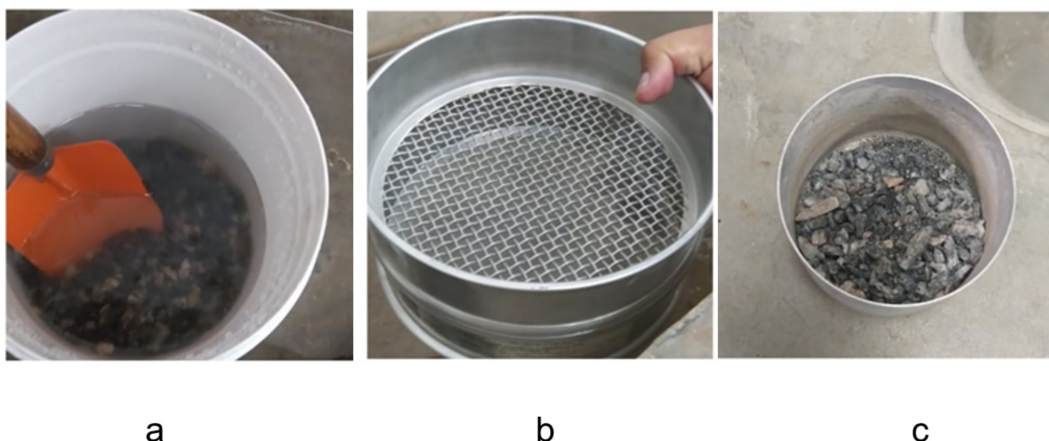
Onde:

m é a quantidade de material mais fino que a peneira 75µm por lavagem;

m_i é a massa original da amostra seca;

m_f é a massa da amostra seca após a lavagem.

Figura 1 – Ensaio para determinação do material fino



Fonte: Os autores, 2022

Segundo a norma ABNT NBR 7211:2005, o material passante na peneira com abertura de malha 75µm não deve ultrapassar 1%.

3.2 Determinação da granulometria – ABNT NBR NM 248:2003

Considerando-se a ABNT NBR NM 248:2003, as amostras foram secas em estufa. Foram pesados 300g de agregado graúdo. As peneiras foram colocadas da maior para a menor malha; em seguida, o material foi despejado nas peneiras e colocadas no vibrador por 5 min. Depois, o material foi pesado e os cálculos realizados conforme a ABNT NBR 7211:2005.

3.3 Moldagem dos corpos de provas – ABNT NBR 5738:2016

Tomando-se a ABNT NBR 5738:2016, utilizou-se o traço indicado na tabela 2 para fazer a mistura do concreto poroso. Seguindo o procedimento realizado por Balbo (2020), o agregado foi despejado na

betoneira com metade do volume de água. Depois que sua superfície ficou úmida, acrescentou-se cimento e, por último, acrescentou 1% de super plastificante no restante da água, adicionando-se ao concreto e misturando-se por 3 minutos. Posteriormente, foram moldados os corpos de provas. Os cilindros receberam duas camadas de concreto, adensadas com haste metálica em doze golpes cada, de acordo com a mesma norma. Passadas 24 horas, as amostras foram desmoldadas e colocadas na cura submersa.

Figura 2 –Comparação dos corpos de provas com brita 0 e RCD



Fonte: Os autores, 2022

3.4 Ensaio da determinação da taxa de infiltração - ASTM C1701:2009

Para determinar a taxa de infiltração, foram feitas duas marcações: de 1,00cm e 1,50cm, no anel de 30,30cm de diâmetro. Conforme método de ensaio da norma ASTM C1701:2009, prendeu-se o anel na placa de concreto permeável com massa de encanador, para que a água não escorresse para fora da área definida. Em seguida, realizou-se a pré-molhagem da placa de concreto construída e cronometrou-se o tempo. Sendo o tempo inferior a 30 segundos, foram utilizados 18 litros de água para a realização do ensaio. É válido destacar, a título de esclarecimento, que se o tempo de infiltração fosse maior, seriam utilizados 3,6 litros. O ensaio, conforme norma, foi realizado dentro de 2 minutos após o umedecimento (vide Figura 3).

$$k = \frac{(C \times m)}{(d^2 \times t)} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

k: taxa de infiltração [mm/h];

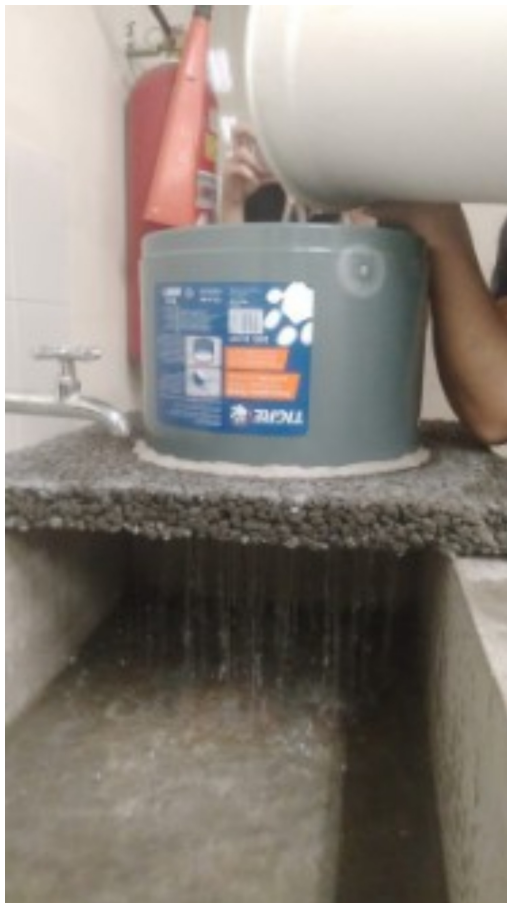
m: massa de água infiltrada [kg];

d: diâmetro interno do cilindro [mm];

t: tempo [s];

C: fator de conversão de unidades do sistema SI com valor igual a 4 583 666 000.

Figura 3 – Ensaio de permeabilidade do concreto com brita 0



Fonte: Os autores, 2022

3.5 Resistência à compressão - ABNT NBR 5739:2007

Tomando-se por base a ABNT NBR 5739:2007, após os 28 dias, procedeu-se a realização dos ensaios de compressão nos corpos de prova cilíndricos de concreto com brita natural. Quanto ao concreto composto por RCD com agregado reciclado, o rompimento ocorreu com 21 dias. Utilizado o Cimento Portland de alta resistência inicial, constatou-se que em 7 dias foi possível alcançar 90% de sua resistência desejada.

Os corpos de prova foram centralizados no prato inferior da máquina universal de ensaios (Figura 4). A carga, como recomendado, foi aplicada continuamente e sem choques, até o ponteiro alcançar a carga máxima do rompimento. Os resultados foram anotados para a realização dos cálculos, conforme método de ensaio.

$$\sigma = \frac{F}{\pi \times r^2} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

- σ : resistência mecânica [MPa];
- F: força máxima alcançada [kgf];
- r: raio do corpo de prova [cm²].

Figura 4 – Ensaio de resistência do concreto com RCD



Fonte: Os autores, 2022

Segundo Batezini (2013), a resistência à compressão do concreto permeável está entre 4,10MPa e 55,80MPa. Na composição do traço buscou-se alcançar boa resistência à compressão. Os dados obtidos são apresentados na seção de resultados e discussão.

Resultados e Discussão

4.1 Determinação dos materiais finos – ABNT NBR NM 46:2003

Após a realização do ensaio, os valores médios da porcentagem de materiais finos que passaram pela peneira 75µm estão apresentados na Tabela 3, onde observa-se que os dois insumos estudados estão distintos da norma ABNT NBR 7211:2009, com valores maiores que 1%. Portanto, a quantidade de materiais finos interfere na relação água/cimento e na resistência do concreto. Desse modo, é necessário fazer uma correção no volume de água do traço de concreto ou realizar a lavagem do agregado antes da incorporação ao concreto.

Tabela 3 – Média da determinação dos finos do agregado natural e reciclado

Agregado	Massa da Amostra seca (g)	Massa da amostra seca lavada (g)	Porcentagem do material mais fno (%)	Média
NATURAL	1000	989	1,1	1,95%
	1000	972	2,8	
RECICLADA	1000	980	2	1,50%
	1000	990	1	

Fonte: Os autores, 2022

4.2 Determinação da granulometria - ABNT NBR NM 248:2003

Os resultados de granulometria obtidos no laboratório estão expressos na Tabela 4. É possível identificar a grande porcentagem de areia misturada com os agregados graúdos. De acordo com a ABNT 7211:2009, 100% dos agregados graúdos devem ser retidos na peneira 4,80mm. Portanto, observa-se que 21,67% de areia foi encontrada no basalto e 27% foi encontrado no RCD. Esse excesso de finos interfere nos valores de resistência, sendo necessária uma lavagem dos agregados ou uma correção na quantidade de água.

Tabela 4 – Granulometria do agregado natural

Peneira (mm)	Agregado basáltico			Agregado reciclado		
	Peso (g)	Porcentagens		Peso (g)	Porcentagens	
		Retida	Acumulada		Retida	Acumulada
4,8	235	78,33	78,33	215	71,67	7167,00%
2,4	51	17	95,33	71	23,67	9533,00%
1,2	5	1,67	97	0	0	9533,00%
0,6	0	0	97	0	0	9533,00%
0,3	5	1,67	98,67	5	1,67	9700,00%
0,15	0	0	98,67	0	0	9700,00%
Fundo	4	1,33	100	5	1,67	9867,00%
Σ	300	100		296	100	
MF		5,65			5,52	

Fonte: Os autores, 2022

4.3 Determinação da taxa de infiltração - ASTM C1701 (ASTM, 2009)

O ensaio realizado no concreto com agregado natural apresentou uma boa permeabilidade, como mostra a Tabela 5 (e conforme Figura 3). Os resultados obtidos na Tabela 4 mostram que a taxa de infiltração média alcançada é $10,9 \times 10^{-3}$, estando dentro da norma ABNT NBR 16416:2015, que determina que o coeficiente de permeabilidade deve ser $>10^{-3}$.

Na realização do ensaio com o concreto de agregado reciclado não foi possível passar água pela placa moldada, já que ela apresentou uma camada onde os poros estavam obstruídos (como observado na Figura 2). Isso ocorreu na moldagem do corpo de prova, onde o excesso de finos (27% de materiais retidos nas peneiras menores que 4,80 mm), como apresentado no ensaio de granulometria, desceu e sedimentou, tampando os poros e deixando a placa impermeável.

Tabela 5 – Resultados do coeficiente de permeabilidade no concreto com agregado natural

QUANTIDADE DE ÁGUA (L)	TEMPO (S)	TAXA DE INFILTRAÇÃO	MÉDIA (03 LEITURAS)
18	20	0,012482525	0,010979613
18	26	0,009601943	
18	23	0,01085437	

Fonte: Os autores, 2022

4.4 Resistência à compressão - ABNT NBR 5739:2007

Os corpos de prova cilíndricos executados com RCD foram rompidos com 21 dias, mas segundo a ABNT NBR 5733:1991, o cimento de alta resistência inicial alcança 90% de capacidade em 7 dias.

Na Tabela 6, observa-se que ambos os traços estão de acordo com os valores sugeridos por Batezini (2013): a resistência à compressão do concreto permeável está entre 4,10MPa e 55,80MPa.

O concreto com agregado natural apontou menor resistência à compressão em comparação com o agregado reciclado, pois apresentou uma maior permeabilidade e menos areia na composição.

Tabela 6 – Resistência à compressão do concreto

CORPO DE PROVA	IDADE DO ENSAIO	RESISTÊNCIA (MPa)	MÉDIA
Brita 0 CP A	28 DIAS	4,86	4,38
Brita 0 CP B	28 DIAS	4,62	
Brita 0 CP C	28 DIAS	3,63	
Brita 0 CP D	28 DIAS	3,82	
Brita 0 CP E	28 DIAS	4,34	
Brita 0 CP F	28 DIAS	4,99	
RCD CP A	21 DIAS	5,67	4,56
RCD CP B	21 DIAS	4,24	
RCD CP C	21 DIAS	3,44	
RCD CP D	21 DIAS	4,09	
RCD CP E	21 DIAS	5,03	
RCD CP F	21 DIAS	4,93	

Fonte: Os autores, 2022

Considerações Finais

Nesse trabalho, desenvolveram-se traços de dosagem do concreto que alcançaram a resistência mínima esperada para pavimentos porosos e uma boa taxa de permeabilidade. Entretanto, no ensaio realizado com RCD, diferente de outros estudos de concreto permeável, o material não teve o desempenho esperado, o que se deve à redução da permeabilidade atribuída ao excesso de materiais finos presentes na mistura do agregado, resultando na formação de uma camada superficial de argamassa na placa. Para avançar em estudos adicionais, é recomendável realizar a lavagem dos agregados a fim de

remover os materiais pulverulentos em excesso. Além disso, ajustes na dosagem em laboratório são viáveis para essa mistura.

Embora o concreto permeável com resíduos de construção e demolição (RCD) não tenham alcançado as condições esperadas de uso devido ao elevado teor de materiais finos, é importante destacar que o volume de RCD disponível para os ensaios foi suficiente para as amostras, sem margem para folgas. Assim, a opção de lavar o material não foi considerada, procedimento que poderia potencialmente resultar em melhorias significativas nos resultados obtidos.

Mediante os fatos observados, é certo que ainda haja uma resistência ao uso do concreto permeável, principalmente pela baixa resistência do pavimento, que continua sendo estudado, além de outros requisitos associados à utilização que esse tipo de pavimento acarreta, tais como a necessidade do sistema de captação e a correta manutenção. No entanto, são inegáveis os benefícios que essa modalidade vem trazendo às populações, como a preservação dos lençóis freáticos, a prevenção de enchentes e perdas materiais, desde que respeitadas as boas práticas e normalizações para sua produção, incluindo as especificações e características dos insumos do concreto permeável, e monitorado seu uso por meio das manutenções citadas na seção 2.4.

Concluindo, deve-se desenvolver mais estudos para a determinação da dosagem e cálculo de traço para concreto permeável, ampliar métodos para alcançar uma melhor resistência e permeabilidade e enriquecer o rol de procedimentos especificamente desenvolvidos para avaliar concretos permeáveis.

Agradecimentos

À Fatec Tatuapé, pela oportunidade de desenvolver essa pesquisa no laboratório de materiais. À Profa. Dra. Michelle Santos Rodrigues, pelas importantes contribuições para o desenvolvimento desse trabalho e à assistente docente Bruna Dias, pelo apoio na realização dos experimentos.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416:** Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e Procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733:** Cimento Portland de alta resistência inicial. Especificações. Rio de Janeiro, 1991.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:** Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211:** Agregados para concreto - especificação. Especificações. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 46:** Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75 µm, por lavagem. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:** Agregados – Determinação da composição granulométrica. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2003.

ASTM – AMERICAN SOCIETY FOR TESTING OF MATERIALS. **ASTM C1701/C1701M-17a:** Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete. West Conshohocken, 2017.

BALBO, J. T. **Pavimentos de Concreto Permeáveis:** uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica:** formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2010. p. 496.

BATEZINI, R. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves.** 2013. 94 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado, Engenharia de Transportes – Infraestrutura de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BRATTEBO, B. O.; BOOTH, D. B. Ling- Term Stormwater Quantity and Quality Performance of Permeable Pavement Systems. **Water Resources**, v.37, n.18, 2003.

CABRAL, A. DE M.; ALMEIDA, F. J. DE. **Portfólio do trabalho de graduação USF asfalto permeável solução para alagamento da rodoviária de extrema MG.** 2019. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/3256.pdf>>. Acesso em: 10 set. 2021.

CARLS, B. *et al.* Manejo de águas urbanas com pavimento de concreto permeável: métodos de dosagem e técnicas de manutenção. **Revistaea**, 06 dez. 2018. Disponível em: <http://revistaea.org/artigo.php?idartigo=3518> . Acesso em: 06 jun. 2022.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **DNIT 064:** 2004 Pavimento rígido – Determinação da consistência do concreto pelo consistômetro VeBe. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2004.

GUIDOTTI, M. S. *et al.* Concreto permeável reforçado para placas de piso: faculdade de engenharia civil - Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana - PUC Campinas. **Concreto & Construções:** Indústria 4.0 - Inovações Tecnológicas no Projeto, Execução e Controle do Concreto para Cidades Inteligentes, Campinas, n. 93, p. 62-68, mar.2022.

PINTO, C. de S. **Curso básico de mecânica dos solos.** 3ª. Ed. São Paulo: Oficina de texto, 2006.

Influência da temperatura na hidratação e no desempenho mecânico para concreto de ultra-alto desempenho (UHPC)

Lucas Gomes Santana (1); Marcos Vinicius de Freitas Jesus (2); Michelle Rodrigues (3)

Resumo

Este trabalho investiga a influência da temperatura na hidratação e no desempenho mecânico do concreto de ultra alto desempenho (UHPC). Para tanto foram produzidos concretos e submetidos a diferentes técnicas de cura, com destaque para a cura térmica e a cura úmida. Após 7 dias de idade de cura, os materiais foram analisados por meio de ensaios mecânicos de compressão axial e compressão diametral. Os resultados demonstraram que o UHPC submetido à cura térmica apresentou maior resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral, devido à aceleração da hidratação do cimento e à redução da porosidade na microestrutura. No entanto, mesmo com a cura térmica, as resistências não atingiram os valores mínimos estabelecidos pelas normas internacionais, evidenciando a necessidade de aprimorar o empacotamento granular e ajustar as propriedades reológicas da mistura. O estudo enfatiza a importância de métodos de cura eficazes e sugere que futuras pesquisas explorem técnicas avançadas de empacotamento e a incorporação de aditivos, bem como a avaliação de variáveis adicionais, como o uso de fibras e métodos de mistura, para maximizar o potencial do UHPC na construção civil.

Palavras-chave: UHPC; Concreto de ultra alto desempenho; Cura; Cura térmica.

Introdução

O concreto é um material formado por cimento, água, agregado miúdo (areia) e agregado graúdo (brita). Além desses componentes básicos, o concreto pode conter adições (cinza volante, pozolanas, sílica ativa etc.) e aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas, como a resistência à compressão, durabilidade e trabalhabilidade (Mehta; Monteiro, 1994).

(1) aluno - lucas1999gs@gmail.com; (2) aluno - vinnydefreitas@hotmail.com;
(3) professora - michelle.rodrigues2@fatec.sp.gov.br

É um dos materiais mais utilizados na construção civil e destaca-se pela sua versatilidade e resistência. Está presente em residências, edifícios comerciais, rodovias, pontes, hospitais, escolas, usinas hidrelétricas e nucleares, em obras de saneamento e até em plataformas de extração petrolífera móveis.

Estima-se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que representa um consumo médio de aproximadamente 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. No Brasil, o consumo de concreto que sai de centrais dosadoras está em torno de 30 milhões de metros cúbicos (Instituto Brasileiro de Concreto, 2009).

O concreto de ultra alto desempenho (UHPC) é um concreto que apresenta uma elevada resistência mecânica (tanto para compressão como para tração), alta durabilidade e trabalhabilidade (fluidez). O UHPC tem a capacidade de unir as principais características e propriedades do concreto de alto desempenho (CAD), do concreto reforçado com fibras (CRF) e do concreto de alto adensável (CAA) (Torregrosa, 2013). A composição do UHPC garante um ótimo empacotamento entre os materiais – sendo ligante hidráulico (cimento Portland), agregados miúdos, adições minerais, aditivos químicos e fibras – sem a presença de agregados graúdos (Soliman; Tagnit-Hamou, 2016).

As propriedades de durabilidade e resistência mecânica que o UHPC apresenta estão relacionadas com a relação de água/cimento na mistura do traço. A adição de água tem como finalidade o preenchimento e a hidratação das partículas de cimento (Cwirzen; Penttala; Vornanen, 2005).

Os avanços da indústria química de aditivos e o desenvolvimento de novos compósitos revolucionaram o mundo do concreto, abrindo portas para a criação de traços caracterizados por uma relação água/cimento extremamente baixa. A redução gradual da introdução de água na mistura produziu um avanço na tecnologia do concreto e para as propriedades mecânicas e físicas do produto (Müller, 2006).

A influência da quantidade de água a ser incorporada na mistura interfere diretamente na resistência mecânica, com a diminuição da porosidade no sistema, devido à não formação de pequenos poros deixados pela água que não evaporou durante o processo de cristalização do concreto. Por conta da baixa relação água/cimento presente no UHPC, a dosagem de aditivos superplastificantes a serem considerados é de suma importância para garantir as propriedades de trabalhabilidade e resistência mecânica desejadas (Eden, 2010).

No UHPC, é imprescindível a utilização de aditivos superplastificantes em conjunto com adições minerais, pois, devido às adições serem em geral materiais ultrafinos, influenciam diretamente no fator água/(cimento + adição) da mistura (Dal Molin, 1995).

As adições minerais são substâncias naturais ou artificiais dotadas de grande reatividade para o hidróxido de cálcio, mas insolúveis e inertes na água. Utilizadas para suplementar o cimento, ou como substituição, tomando lugar de parte do cimento (Coutinho, 1963).

Existem diferentes tipos de adições no concreto, incluindo: pozolanas (como cinzas volantes, sílica ativa, metacaulim) somente reagindo em conjunto com cimentícios; cimentantes (escória granulada de alto-forno, cinzas volantes com alto teor de cálcio) reagem com o hidróxido de cálcio, mas não necessariamente precisam da presença de cimento Portland; e inertes (fíler calcário; agregado pulverizado; alguns resíduos calcinados), não reagem quimicamente com o cimento (Mehta; Monteiro, 1994).

A sílica ativa está entre as adições minerais mais comumente utilizadas em UHPC, no qual, além de elevadas resistências mecânicas, busca-se também reduzir a porosidade e a permeabilidade, potencializando assim a durabilidade (Habel *et al.*, 2006).

A literatura demonstra que o metacaulim é uma pozolana eficaz que atua na estrutura de poros e aumenta a resistência do concreto à entrada de agentes agressivos (Sabir; Wild; Bai, 2001) e a resistência à compressão (Beltrão *et al.*, 2010). Badogiannis e Tsivilis (2009) observaram que um concreto com a incorporação de metacaulim apresenta menor permeabilidade a cloretos e gases. A inclusão de metacaulim diminui o tamanho médio dos poros do concreto e melhora a uniformidade da distribuição do tamanho dos poros.

Para que um concreto possa apresentar suas características mecânicas de forma satisfatória, é importante que seja realizada a etapa de cura. A cura é realizada por duas razões básicas: hidratar o quanto possível o cimento e reduzir ao máximo a retração do concreto, fatores intrínsecos à durabilidade. O procedimento de cura tem papel importante na qualificação do concreto, visto que, ao inibir a saída de água para o meio externo, permite que a dosagem seja cumprida e, por conseguinte, o cimento seja hidratado quase que em sua totalidade. Desse modo, o concreto obtido apresentará uma microestrutura menos porosa, mais resistente. Os ataques de fluidos nocivos se manifestam através de efeitos físicos, como no aumento da porosidade e permeabilidade, fissuração e lascamento (Mehta; Monteiro, 1994).

Quando a água à temperatura ambiente, na forma líquida ou em vapor, é o agente que mantém o concreto saturado de forma direta, ou em molhagem direta (Recena; Pereira, 2011), há o chamado processo de cura úmida. É necessário um cuidado especial com a qualidade da água utilizada, de acordo com requisitos previstos na norma brasileira ABNT NBR 14931:2023.

A cura térmica do concreto visa acelerar o processo de cura e alcançar a resistência mecânica mínima desejada em um prazo reduzido. A cura térmica é muito utilizada em empresas que trabalham com concreto pré-moldado, pois reduzindo o tempo de cura permite a utilização das fôrmas, leitos de protensão e equipamentos de cura a intervalos mais frequentes, reduzindo as áreas de estocagem e permitindo colocar peças em serviço em um período menor ao que se teria se fosse utilizada a cura convencional (Camarini, 1995).

O objetivo geral do trabalho é realizar uma análise comparativa dos diferentes tipos de cura para UHPC e a influência em suas propriedades físico mecânicas. Para isso, tem-se como objetivos específicos: comparar as resistências à compressão axial e compressão diametral na idade de cura 7 dias e analisar a porosidade do concreto, medindo absorção de água.

1. O concreto UHPC

O termo específico para o UHPC não foi utilizado em várias pesquisas devido à falta de uma definição clara do que realmente é um UHPC. No entanto, em 2013, o Instituto Americano do Concreto (ACI) e a Associação Francesa de Engenharia Civil (AFGC) forneceram definições precisas do que constitui um UHPC: é uma mistura que não contém agregados grossos, possui baixa relação água/aglomerante, reforço de fibras de aço, resistência à compressão superior a 150 MPa e resistência à tração superior a 8MPa aos 28 dias. O UHPC tem uma resistência mínima à compressão de 150MPa, durabilidade específica e alta ductilidade.

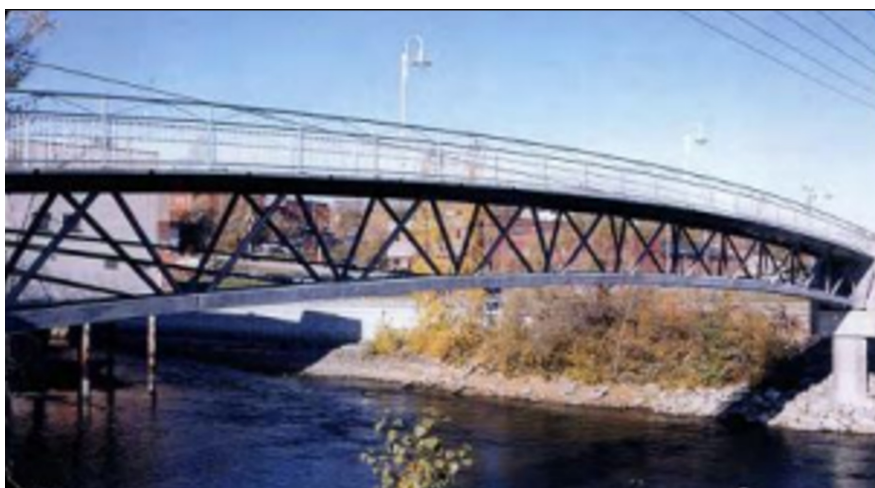
O desempenho do UHPC está diretamente relacionado com a compactação granular da mistura dos componentes. Para garantir que o material atinja o desempenho desejado, é essencial eliminar os espaços vazios, utilizando o método de empacotamento das partículas. A compactação granular possibilita que a mistura preparada tenha uma ótima compacidade, resultando em uma mistura com poucas imperfeições devido à quantidade de vazios causada pela distribuição granulométrica (Geisenhanslücke, 2008).

Uma pesquisa realizada por Lowke *et al.* (2012) revelou que as características do UHPC analisadas foram fortemente influenciadas pela distribuição do tamanho das partículas das adições, e não pelo tipo de material. Os resultados indicam que as propriedades reológicas e, conseqüentemente, a trabalhabilidade do concreto fresco, foram consideravelmente impactadas pela distribuição granulométrica das adições. As adições com diâmetro de partícula maior resultaram em um aumento na necessidade de aditivo superplastificante.

A quantidade de água a ser adicionada ao concreto não apenas interfere na resistência mecânica do material, mas também impacta diretamente na trabalhabilidade da mistura, sendo de extrema necessidade a utilização de aditivos superplastificantes para suprir essa deficiência (Eugen Brühwiler; Emmauel Denarié, 2008). Devido à baixa quantidade de água presente na mistura do UHPC, a quantidade de aditivos superplastificantes a serem inseridos na mistura é de grande importância para garantir o comportamento reológico desejado (Eden, 2010).

A utilização do UHPC na construção civil se iniciou no ano de 1997, com a construção de uma passarela na cidade de Sherbrooke, no Canadá, a passarela para pedestre de Sherbrooke (Figura 1). Na ocasião, a estrutura da ponte foi confeccionada com o concreto de pós reativos (CPR), com resistência à compressão de 200MPa (Warnock, 2005).

Figura 1 - Passarela para pedestre de Sherbrooke



Fonte: Civilização Engenharia, 2012

Outro exemplo da aplicação desse material em uma obra de arte é a ponte do aeroporto de Tóquio, na qual transitam aeronaves (Figura 2). A ponte foi construída sobre a rodovia que liga o sul e o norte do

país, possui 46 metros de comprimento e 16 metros de largura, e a carga de projeto é de 125kN por eixo (Toutlemonde; Resplendino, 2013).

Figura 2 - Ponte no aeroporto de Tóquio



Fonte: Toutlemonde e Resplendino (2013)

A parte superior da estrutura é formada por vigas em forma de "U" que se apoiam em placas feitas do mesmo material que foram solidificadas, conforme mostrado na Figura 3. Os componentes foram feitos de UHPC com resistência à compressão de 180 MPa.

Figura 3 - Peças (e montagem) e ponte onde estão aplicadas

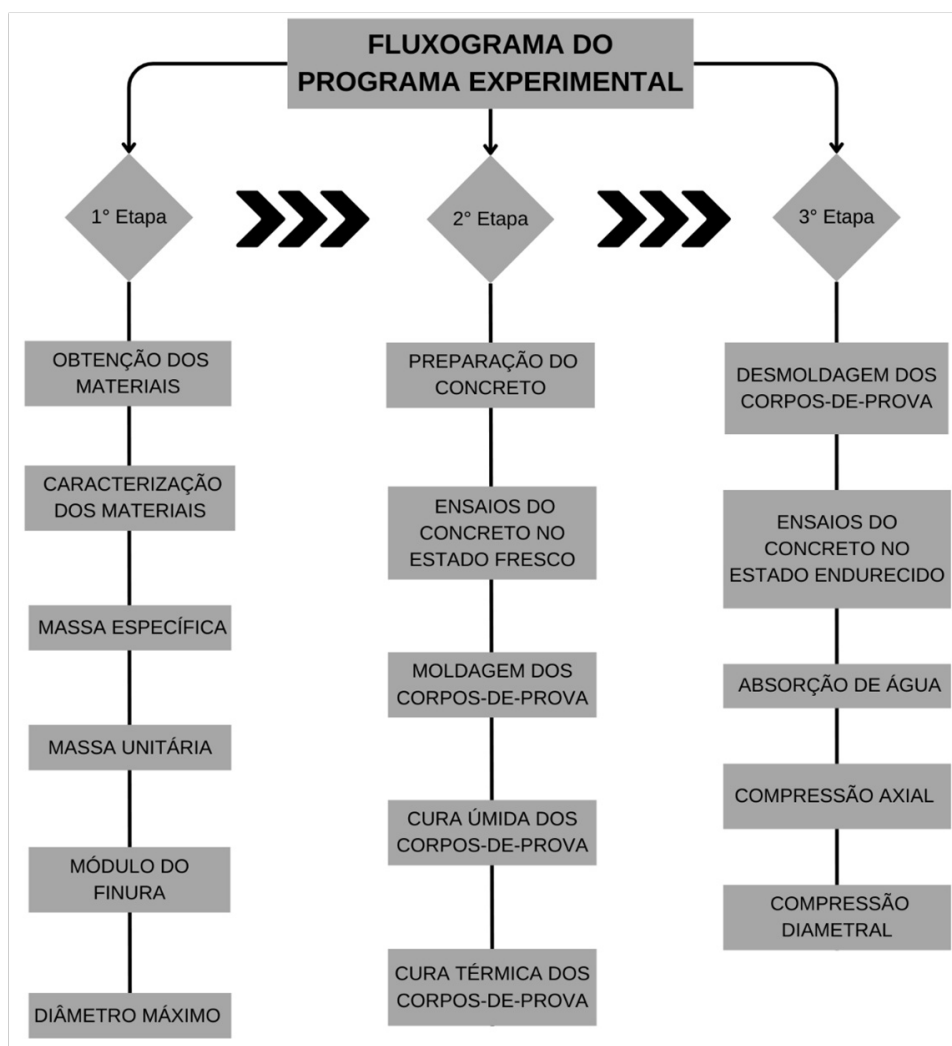


Fonte: Toutlemonde e Resplendino (2013)

Metodologia

Neste capítulo, descreve-se o método utilizado para que o objeto do estudo fosse atingido. O estudo foi estruturado em etapas, definidas em um Fluxograma, como apresenta a Figura 4. Os resultados obtidos em cada uma das etapas forneceram a base para análise comparativa do UHPC.

Figura 4 - Fluxograma do programa experimental



Fonte: Os autores, 2024

As etapas do programa experimental foram indicadas nas linhas superiores. Os itens seguintes trazem a descrição e detalhamento de cada uma, de modo que o fluxograma proporcione uma compreensão clara dos procedimentos e ensaios aplicados ao longo da pesquisa para a análise comparativa do UHPC.

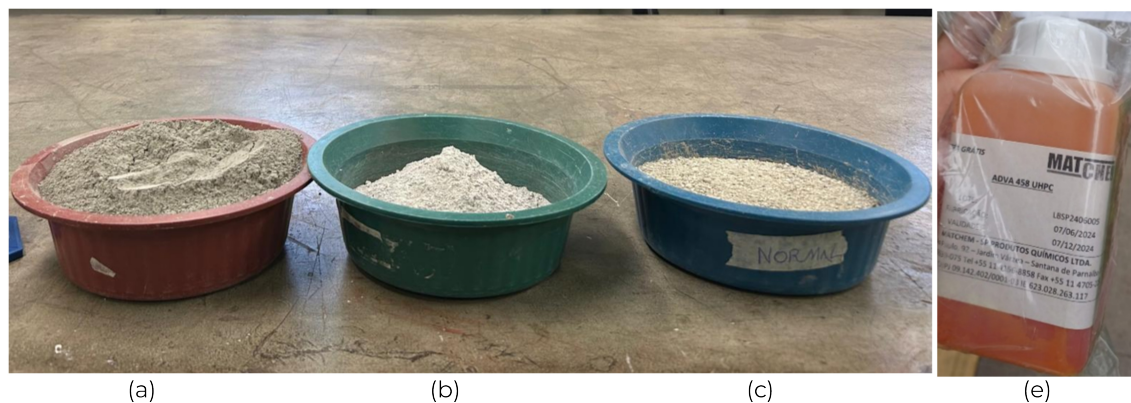
2.1 Materiais

Os materiais utilizados no programa experimental (Figura 5) foram:

- a) cimento CPV ARI, marca Nacional de 40kg;
- b) areia natural de rio média;
- c) metacaulim;

- d) água fornecida pela rede pública;
- e) aditivo superplastificante (ADVA 458 UHPC), marca Chryso e GCP.

Figura 5 - Imagem dos materiais utilizados



Fonte: Os autores, 2024

Os materiais escolhidos e devidamente caracterizados foram separados para a realização da mistura em uma argamassadeira de 5L, marca Solotest. Estavam secos e armazenados adequadamente em laboratório.

Os cimentos utilizados foram do tipo CP V – ARI, caracterizado atendendo às normas vigentes. A massa específica do cimento foi determinada segundo as prescrições da ABNT NBR 16605:2017.

Como adição mineral foi utilizado o metacaulim, melhorando algumas características químicas e físicas relacionadas à durabilidade, com menor porosidade e permeabilizada, preenchimento dos vazios e a hidratação do cimento. A massa específica da metacaulim foi determinada segundo as prescrições da ABNT NBR 16605:2017.

Como agregado miúdo foi utilizada a areia natural de rio. A sua distribuição granulométrica e módulo de finura foram determinados através do ensaio de peneiramento, segundo as prescrições da ABNT NBR NM 248:2003. As massas unitária e específica foram determinadas conforme prescrições das ABNT NBR 16972:2021 e ABNT NBR 16605:2017, respectivamente.

A ausência do agregado graúdo, como a brita, na composição do UHPC auxilia na redução dos vazios internos, devido ao empacotamento das partículas. E principalmente influencia na diminuição da zona de transição, que é a ligação da pasta de cimento e o agregado graúdo, ponto mais frágil de um concreto (Richard; Cheyrezy, 1995).

2.2 Traço unitário

Neste trabalho foi analisada a utilização do traço proposto por França, Medeiros Jr. e Mont'Alverne (2021), para atingir uma resistência à compressão superior a 150MPa em cura padrão. O traço unitário em massa utilizado foi o seguinte: 1:0,25:1,02:0,20 (c:m:a:x). Nesse traço:

- ▶ c: Representa o cimento Portland.
- ▶ m: Refere-se ao metacaulim.
- ▶ a: Corresponde ao agregado miúdo (areia).
- ▶ x: Relaciona-se com a relação água/ligante.

Foi utilizado 5% de aditivo superplastificante (ADVA 458 UHPC) sobre a massa dos aglomerantes.

Foram realizados testes com quatro traços distintos, cada um com diferentes relações água/ligantes, além de variações no tipo de aditivo empregado. Cabe ressaltar que esses ajustes foram implementados com o objetivo de identificar a combinação que proporcionasse a melhor trabalhabilidade e reologia para a matriz.

2.3 Procedimentos de mistura

A sequência de mistura do concreto foi realizada de forma empírica, em laboratório, conforme o seguinte procedimento:

- 1) Primeiramente, todos os constituintes secos foram inseridos na argamassadeira e misturados por 2 minutos, em velocidade 1, de acordo com a Figura 6;
- 2) Em seguida, adicionaram-se 90% da água e todo o superplastificante. Após 15 minutos de mistura, a velocidade da argamassadeira foi aumentada para 2, conforme ilustrado na Figura 7;
- 3) Por fim, foram adicionados os 10% restantes da água. O tempo total de mistura foi limitado a 25 minutos para evitar a perda de trabalhabilidade.

A mistura apresentou alta fluidez e plasticidade, conforme demonstrado na Figura 7. Nesta pesquisa, foram utilizados corpos de prova com dimensões de 5cm de diâmetro e 10cm de altura, devido à quantidade de materiais disponíveis para a realização dos ensaios, além do fato de que a composição do UHPC não inclui agregados graúdos. Além disso, utilizamos corpos de prova com essas dimensões com base em estudos anteriores, como o estudo de Rompa e Gidrão (2020), em que especificações semelhantes foram adotadas para a

caracterização do concreto.

Para a moldagem dos corpos de prova cilíndricos, seguiram-se as especificações da ABNT NBR 7.215:2019. O concreto foi compactado em quatro camadas, cada uma com 30 golpes, aplicados uniformemente no molde. Em seguida, os corpos de prova foram armazenados em local adequado até o momento da desmoldagem.

Figura 6 – UHPC na argamassadeira (consistência granulada)



Fonte: Os autores, 2024

Figura 7 – UHPC na argamassadeira (consistência fluida)



Fonte: Os autores, 2024

O concreto no estado fresco não foi submetido a ensaios, como o *flow test* e a verificação de habilidade passante, entre outros. Isso se deve à capacidade limitada da argamassadeira, que não permite produzir a quantidade mínima de 6 litros de concreto exigida para o ensaio de *flow test* (pelo volume do tronco de cone). Além disso, não havia a disponibilidade da mesa *flow table*, utilizada para medir a fluidez de argamassas.

2.4 Processo de Cura

Após 72 horas do processo de moldagem, os corpos de prova foram desmoldados e divididos em duas amostras, de acordo com os tipos de cura: cura térmica a 60°C e cura submersa, como ilustrado nas Figuras 8 e 9. A amostra destinada à cura térmica foi mantida a 60°C em um equipamento de banho maria de 8 bocas. Quando os corpos de prova foram imersos, a temperatura da água foi aferida com um termômetro. No entanto, durante o período de imersão, não houve monitoramento contínuo do nível e da temperatura da água. Ao final do processo, constatou-se uma variação no nível da água, embora a temperatura tenha se mantido constante.

Figura 8 – Cura térmica na água a temperatura de 60°C



Fonte: Os autores, 2024

Figura 9 – Cura úmida



Fonte: Os autores, 2024

Os corpos de prova permaneceram nessas condições até a realização dos respectivos ensaios do estado endurecido do concreto em 7 dias, realizados em cada amostra.

2.5 Ensaio do concreto no estado endurecido

A ruptura dos corpos de prova por teste de compressão axial e diametral para cada idade de 7 dias deu-se, respectivamente, conforme as normas ABNT NBR 5739:2018 e ABNT NBR 7222:2011, que determinam os procedimentos e equipamentos pelos quais devem ser ensaiados os corpos de provas cilíndricos.

- a) Para o cálculo da compressão axial exercida sobre o corpo de prova, devido a uma carga, foi utilizada a equação 1 - Compressão axial:

$$R = \frac{P}{A} \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo:

R = Resistência à compressão axial, em MPa

P = Carga aplicada ao corpo de prova, em N

A = Área corrigida do corpo de prova, em mm²

- b) Para o cálculo da compressão diametral exercida sobre o corpo de prova, devido a uma carga, foi utilizada a equação 2 - Compressão diametral:

$$f_{ct,sp} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot L \cdot d} \quad (\text{Eq. 2})$$

Sendo:

$f_{ct,sp}$ = Resistência à tração indireta (MPa)

F = Força aplicada (N)

L = Altura do corpo de prova (mm)

d = diâmetro do corpo de prova (mm)

Para o ensaio de argamassa e concretos endurecidos, tomou-se por base a Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica estabelecida pela ABNT NBR 9778:2005. Os corpos-de-prova passaram por um processo de secagem em estufa durante um período de 48 horas. Após isso, foram retirados e deixados em condição de repouso à temperatura ambiente por uma hora. Realizada a pesagem subsequente, os fragmentos foram então alocados em um recipiente e imersos em água por um tempo adicional de 48 horas. Para o cálculo da absorção de água foi utilizada a Equação 3 - Absorção de água:

$$AA = \frac{M_{sat} - M_{seco}}{M_{seco}} \cdot 100 \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo:

M_{sat} = massa do corpo de prova saturado (kg);

M_{seco} = massa do corpo de prova seco em estufa (kg);

AA = porcentagem de absorção de água.

Para garantir que o ensaio reflita condições de absorção de água mais uniformes e pouco afetadas pela variabilidade das condições iniciais de cura, definiu-se um período de 28 dias para o teste. Nesse contexto, a cura úmida foi selecionada para representar o ensaio, uma vez que a cura térmica, embora acelere a taxa inicial de hidratação do cimento e promova um desenvolvimento precoce de resistência, gera uma microestrutura distinta nas primeiras idades do material. Com o tempo, a taxa de hidratação na cura térmica se estabiliza e a estrutura da matriz se aproxima das características microestruturais e das propriedades mecânicas observadas na cura úmida. Dessa forma, a cura úmida oferece uma condição mais estável e consistente para a análise de absorção de água ao longo do ensaio.

3. Resultados e Discussão

Nos itens subsequentes, apresentam-se os resultados obtidos no trabalho e a discussão em comparação com a bibliografia consultada.

3.1 Caracterização dos materiais

No estudo, foi utilizado o cimento ARI-V da marca Nacional, com massa específica de $3,01 \text{ g/cm}^3$, valor que se encontra dentro do intervalo usual para cimentos do tipo CPV ARI, que varia entre 2,9 e $3,2 \text{ g/cm}^3$ (Bauer, 2019). A massa específica do metacaulim, por sua vez, foi de $2,54 \text{ g/cm}^3$, em consonância com a faixa esperada para esse material, que geralmente se encontra entre 2,5 e $2,7 \text{ g/cm}^3$, sendo composto por partículas de granulometria bastante fina (Mehta; Monteiro, 1994). As especificações da areia empregada estão detalhadas no Quadro 1 e sua curva granulométrica é apresentada na Figura 10.

Quadro 1 – Composição granulométrica da areia

Abertura das peneiras (mm)	Areia utilizada		
	Massa retida (g)	Retida (%)	Acumulada (%)
4,8	3,05	0,61	0,61
2,4	48,9	9,82	10,43
1,2	95,73	19,22	29,65
0,3	121,9	24,48	76,36
0,15	80,62	16,19	92,55
Fundo	37,11	7,45	100
Módulo de finura		2,61	
Dimensão máxima		4,8 mm	
Massa específica		$2,58 \text{ g/cm}^3$	
Massa unitária		$1,44 \text{ g/cm}^3$	

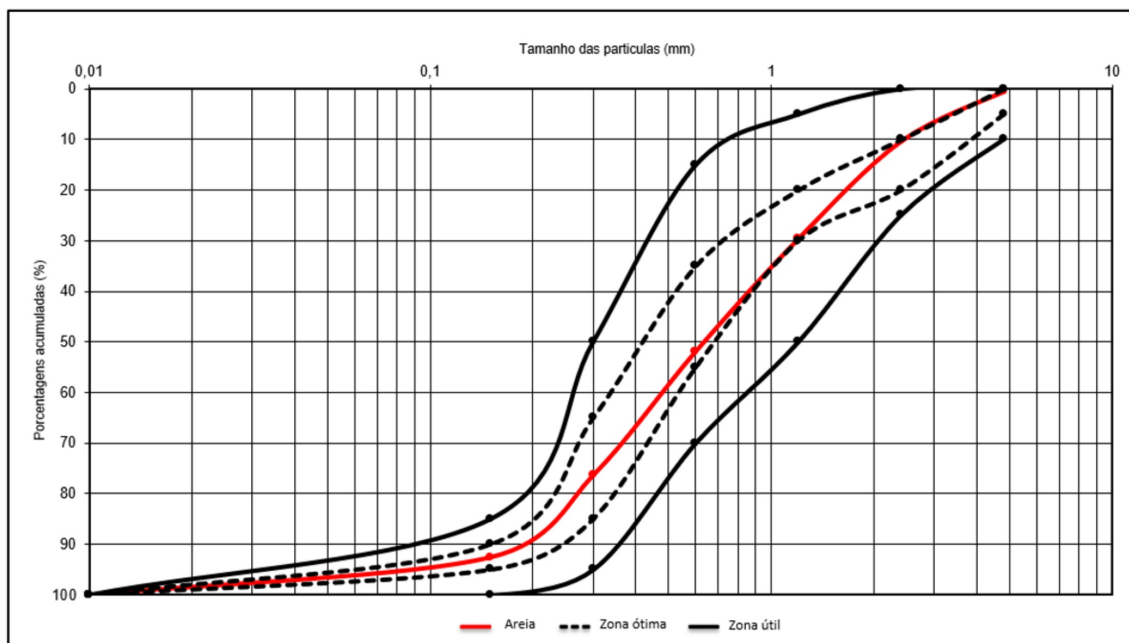
Fonte: Os autores, 2024

Observando-se o quadro acima, constata-se que o agregado miúdo possui módulo de finura igual a 2,61, estando, portanto, dentro do intervalo de 2,20 a 2,90 para a zona ótima, conforme recomendação da ABNT NBR 7211:2022; e dimensão máxima de 4,80mm.

Na curva granulométrica, na Figura 10, é possível verificar que o

agregado miúdo encontra-se totalmente dentro da zona utilizável para concreto e dentro da zona ótima, tal como recomenda a ABNT NBR 7211:2022.

Figura 10 – Distribuição granulométrica das areias



Fonte: Os autores, 2024

3.2 Ensaio de resistência à compressão axial das misturas

Os resultados da resistência à compressão axial das misturas para 7 dias, desenvolvida através do método proposto, estão apresentados nas Tabelas 1 e 2. Graficamente, os resultados podem ser visualizados na Figura 11.

Tabela 1 – Resistência à compressão axial com cura térmica

Ensaio de compressão axial do concreto aos 7 dias de idade com cura térmica				
CPS	Resistência Individual (MPa)	Potencial (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão
1	49,52	52,6	49,99	1,97
2	47,85			
3	52,6			

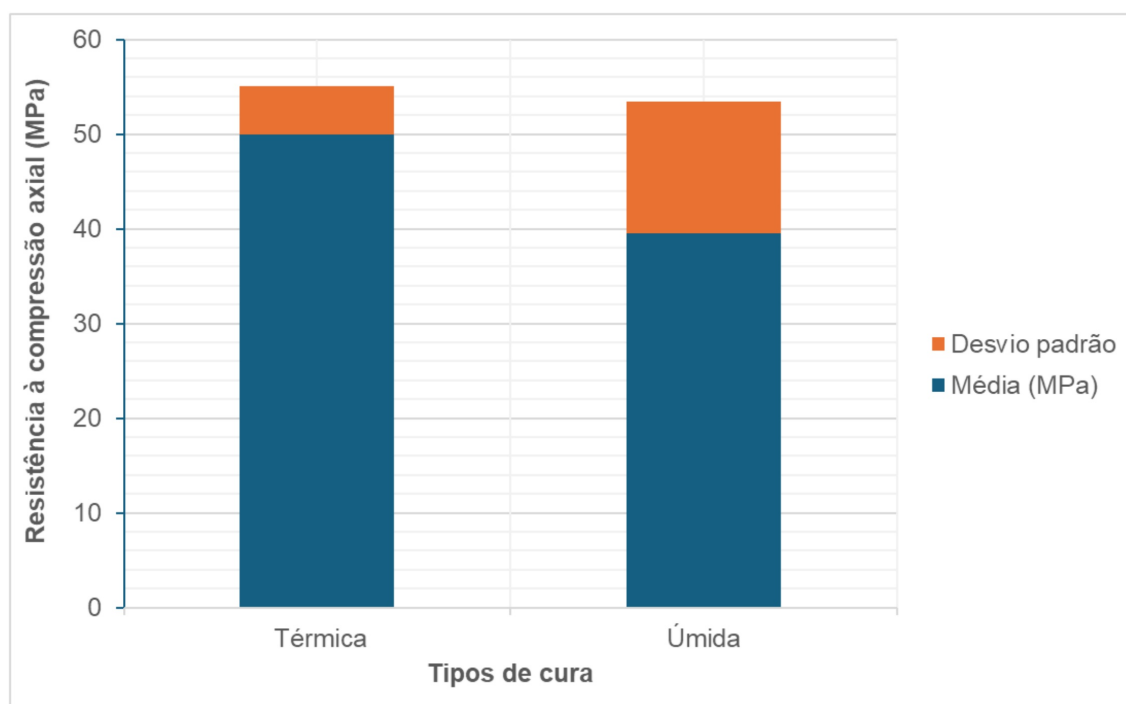
Fonte: Os autores, 2024

Tabela 2 – Resistência à compressão axial com cura úmida

Ensaio de compressão axial do concreto aos 7 dias de idade com cura úmida				
CPS	Resistência Individual (MPa)	Potencial (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão
1	51,97	51,97	39,56	9,08
2	36,22			
3	30,48			

Fonte: Os autores, 2024

Figura 11 – Resistência à compressão axial do UHPC aos 7 dias de idade



Fonte: Os autores, 2024

Observa-se que a resistência à compressão axial é maior para o concreto submetido à cura térmica do que para o concreto curado de forma úmida aos 7 dias. A Tabela 1 mostra que houve uma pequena variação nos valores de resistência, resultando em um desvio padrão baixo. Em contraste, na Tabela 2, observa-se um alto desvio padrão, provavelmente devido à consistência plástica do concreto, que dificultou o processo de moldagem e comprometeu o nivelamento das bases dos corpos de prova.

Conforme ilustrado na Figura 11, a cura térmica apresentou um desempenho superior em termos de resistência à compressão axial, com um aumento de quase 26% em relação à cura úmida. Esse resultado corrobora as conclusões de Kim *et al.* (2002, *apud*

Cecconello; Tutikian, 2012), que indicam que a cura térmica acelera a hidratação do cimento, permitindo que a resistência se aproxime de seu valor máximo nas idades iniciais.

É importante destacar que as resistências à compressão observadas no estudo não atingiram o valor mínimo de 150 MPa, considerado pelas normas internacionais (AFGC) como o limite para classificar o concreto como UHPC. Esse resultado pode estar associado ao empacotamento granular e às propriedades reológicas da mistura. O UHPC requer uma análise detalhada de seus componentes, com uma proporção adequada de partículas de diferentes tamanhos em cada faixa granulométrica, a fim de minimizar os vazios na matriz.

Cabe ressaltar que não foram realizados ensaios aprofundados para investigar a granulometria dos materiais e sua influência na reologia da matriz, como o ensaio de granulometria a *laser*. Essa limitação deve-se à ausência desse equipamento na instituição de ensino e ao alto custo de realização desses testes em laboratórios externos, como o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

O empacotamento granular em uma mistura é de grande importância para as propriedades mecânicas e durabilidade de um concreto. Porém, não há apenas preocupação com relação ao tamanho do grão, dado que a forma e a textura de sua superfície também são de extrema importância (Mangulkar; Jamkar, 2013).

3.3 Ensaio de resistência à compressão diametral das misturas

Os resultados da resistência à compressão diametral das misturas para 7 dias, desenvolvidas através do método proposto, estão dispostos nas Tabelas 3 e 4. Graficamente, os resultados podem ser visualizados na Figura 12.

Tabela 3 – Resistência à compressão diametral com cura térmica

Ensaio de compressão diametral do concreto aos 7 dias de idade com cura térmica				
CPS	Resistência Individual (MPa)	Potencial (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão
1	4,47	8,49	6,27	1,67
2	8,49			
3	5,84			

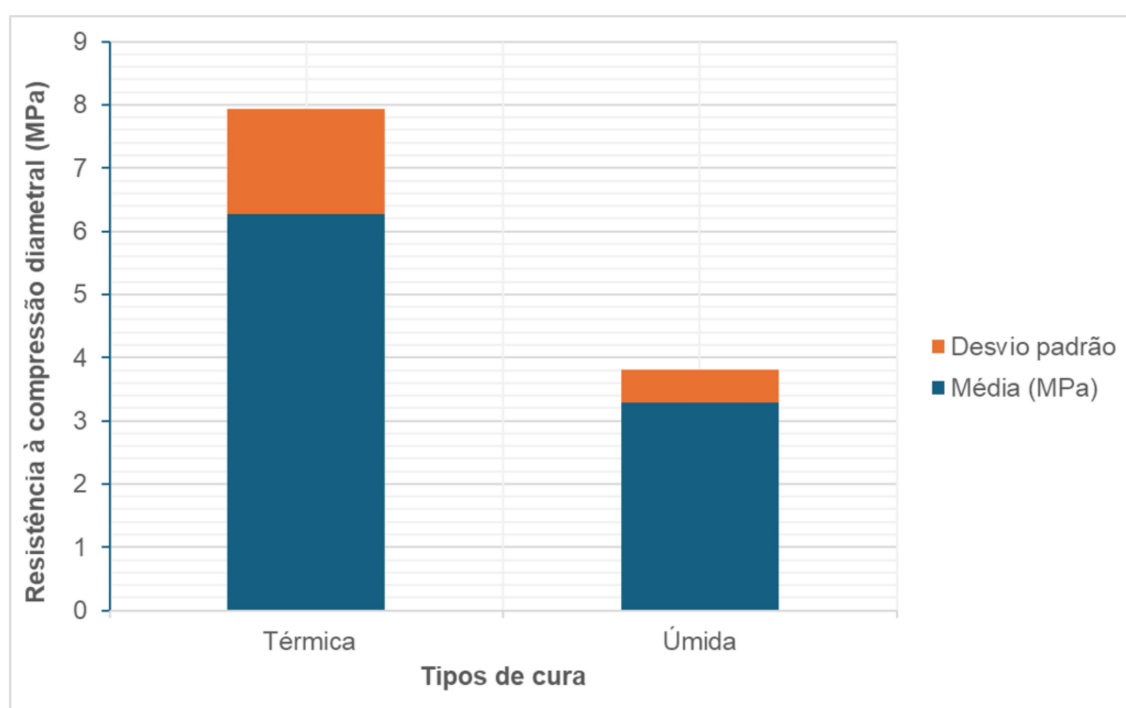
Fonte: Os autores, 2024

Tabela 4 – Resistência à compressão diametral com cura úmida

Ensaio de compressão diametral do concreto aos 7 dias de idade com cura úmida				
CPS	Resistência Individual (MPa)	Potencial (MPa)	Média (MPa)	Desvio padrão
1	3,67	3,67	3,28	0,53
2	3,64			
3	2,53			

Fonte: Os autores, 2024

Figura 11 – Resistência à compressão diametral do UHPC aos 7 dias de idade



Fonte: Os autores, 2024

Conforme apresentado nas Tabelas 3 e 4, observa-se que os valores de resistência à tração indireta por compressão diametral da mistura aos 7 dias foram superiores na cura térmica em relação à cura úmida. Em ambas as condições, os resultados exibiram baixa variação, resultando em um desvio padrão reduzido, o que evidencia a consistência das medições.

A relação entre a resistência à tração por compressão diametral e a resistência à compressão axial foi de 12,54% para o UHPC submetido à cura térmica e de 8,29% para o UHPC com cura úmida. Como ilustrado na Figura 11, a cura térmica mostrou-se um fator significativo para o aumento da resistência à tração por compressão diametral. O aumento da temperatura acelera as reações químicas responsáveis

pela pega e pelo endurecimento do concreto, funcionando como um catalisador no processo de hidratação do cimento (Iserhard, 2000).

Contudo, de acordo com a ACI 239 (2013), o UHPC é caracterizado por uma resistência à tração por compressão diametral superior a 8 MPa aos 28 dias. A resistência inferior observada nesta pesquisa pode estar relacionada a problemas na matriz do concreto ou na distribuição dos materiais, o que pode ter afetado a compactação. Esses valores, no entanto, podem melhorar com o tempo, devido ao aprimoramento da zona de interface entre os materiais, especialmente com o uso de metacaulim.

É importante destacar que, de acordo com a literatura e normas internacionais, o UHPC normalmente utiliza uma matriz reforçada com fibras metálicas. No entanto, nesta pesquisa, as fibras não foram incorporadas à composição do UHPC devido à disponibilidade limitada tanto na instituição de ensino quanto para aquisição no mercado.

3.4 Absorção de água por imersão

Os valores de absorção de água para o UHPC em cura úmida no estado endurecido aos 28 dias estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Absorção de água por imersão

Ensaio de Absorção de água por imersão do concreto aos 28 dias de idade com cura úmida				
CPS	Absorção (%)	Potencial (%)	Média (%)	Desvio padrão
1	0,76	0,98	0,89	0,1
2	0,98			
3	0,94			

Fonte: Os autores, 2024

A Tabela 5 mostra os resultados de absorção de água por imersão de amostras de concreto aos 28 dias de idade com cura úmida. A média de absorção entre as amostras (0,89%) e o desvio padrão (0,10%) indicam uma variação relativamente pequena entre as amostras testadas.

Segundo Graybeal (2006), a absorção de água para UHPC costuma ser muito baixa, geralmente entre 0,2% e 2%, dependendo da composição e do processo de cura. Com base nesses valores de referência, os dados apresentados na tabela indicam que o concreto

em questão possui uma absorção de água alinhada com os níveis esperados para UHPC, reforçando a eficiência de sua microestrutura densa, baixa permeabilidade e sugere que o material possui propriedades de durabilidade aprimoradas.

Cabe ressaltar que foi utilizada a cura úmida para representar os resultados, pois, embora a cura térmica acelere o processo de hidratação inicial e a resistência, com o decorrer do tempo, a cura térmica se aproxima da microestrutura da cura úmida e a cura úmida garante uma condição mais estável e consistente para a análise de absorção de água.

Em síntese, os resultados demonstram que a cura térmica proporciona vantagens iniciais significativas na resistência à compressão axial e à tração do UHPC, conforme evidenciado pelo desempenho superior nas medições de 7 dias. Contudo, a cura úmida se destaca na estabilidade de absorção de água a longo prazo, alinhando-se com os valores esperados de baixa absorção, reforçando a durabilidade e a microestrutura densa do material.

As limitações observadas, como a ausência de ensaios mais detalhados de granulometria e a não incorporação de fibras metálicas, influenciaram os resultados, apontando a importância de um estudo mais detalhado dos componentes para otimizar as propriedades reológicas e mecânicas do UHPC. Assim, a escolha do método de cura deve ser orientada pelos objetivos de desempenho específicos, considerando tanto as vantagens imediatas da cura térmica quanto os benefícios estruturais a longo prazo da cura úmida.

4. Considerações Finais

A pesquisa sobre a influência da temperatura na hidratação e no desempenho mecânico do UHPC evidenciou que o material submetido à cura térmica teve um desempenho superior em termos de resistência à compressão axial e resistência à tração por compressão diametral em relação à cura úmida. Esse ganho ocorre devido à aceleração da hidratação do cimento promovida pela cura térmica, o que diminui a porosidade da microestrutura e resulta em resistências mais elevadas nas idades iniciais.

Contudo, mesmo com a cura térmica, as resistências obtidas ficaram abaixo dos valores mínimos exigidos pelas normas internacionais para classificação como UHPC, evidenciando a necessidade de um empacotamento granular mais eficiente. A inclusão de ensaios de granulometria a *laser* e ajustes precisos nas

propriedades reológicas da mistura são fundamentais para alcançar melhores resultados.

Portanto, o estudo destaca a importância crítica da escolha dos métodos de cura para otimizar as propriedades mecânicas do UHPC e propõe que futuras pesquisas se concentrem no aprimoramento do empacotamento granular, no uso estratégico de aditivos e em adições minerais que possam aumentar a eficácia da mistura. Além disso, recomenda-se investigar variáveis adicionais que possam impactar o desempenho do UHPC, como a incorporação de diferentes tipos de fibras e o desenvolvimento de técnicas de mistura avançadas, visando ampliar ainda mais as aplicações desse material na construção civil.

REFERÊNCIAS

ACI COMMITTEE 239. **Ultra-High Performance Concrete**. 2012. ACI Fall. Canada Toronto, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9778** – Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222** – Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16605** – Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2**: Concreto auto-adensável - Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento - Método do conde de Abrams. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739** – Concreto Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972** – Agregados - Determinação da massa unitária e do índice de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211** – Agregados para concreto – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248** – Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931** – Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BADOGIANNIS, E.; TSIVILIS, S. Exploitation of poor Greek kaolins: Durability of metakaolin concrete. **Cement and Concrete Composites**, Volume 31, Ed.2, p. 128-133, 2009.

BAUER, L.A. **Materiais de Construção**. 6. ed. São Paulo: LTC, 2019.

BELTRÃO, F.C. Moda; ZENAIDE, J. CARLOS. **A Influência do Metacaullim nas Propriedades do Concreto**; 2010. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Engenharia Civil), Universidade da Amazônia, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Engenharia Civil, Belém, 2010.

CAMARINI, G. 1995. **Desempenho de misturas de cimento Portland e escória de alto-forno submetidas à cura térmica**. Tese (Doutorado). EPUSP. Escola Politécnica de Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

CECCONELLO, V.; TUTIKIAN, B. A influência das baixas temperaturas na evolução das resistências do concreto. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**. Vol. 5. nº 1. fev. 2012. P. 68-83. 2012.

CIVILIZAÇÃO ENGENHEIRA. **Concreto de ultra-alto-desempenho**. 2012. Disponível em: <https://civilizacaoengenheira.wordpress.com/2012/11/21/concreto-de-ultra-alto-desempenho/>. Acesso em 05 set. 2025.

COUTINHO, A. S. **La puzolana y sus propiedades**. Lisboa, LNEC. Memória, n.211. 1963.

CWIRZEN, A.; PENTTALA, V.; VORNANEN, C. **Rpc Mix Optimization By Determination of the Minimum Water Requirement of Binary and Polydisperse Mixtures**. [s. l.], 2005.

DAL MOLIN, D. C. C. 1995. **Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adições de microssílica**. São Paulo. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da

Universidade de São Paulo, 1995.

EDEN, W. 2010. **Einfluss der Verdichtung von Kalk-Sand-Rohmassen auf die Scherbenrohdichte von Kalksandsteinen**. Universität Kassel Fachbereich - Deutschland, Kassel, 2010.

EIDE, M. B.; HISDAL, J.-M. **Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC) - State of the art**. [s.l: s.n.].

EUGEN BRÜHWILER; EMMANUEL DENARIÉ. **Rehabilitation of concrete structures using Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete**. In: 2º International Symposium on Ultra High Performance Concrete, 2008.

FRANÇA, L. H. P.; MEDEIROS JÚNIOR, M. S.; MONT'ALVERNE, A. de M. **Durabilidade do UHPC e UHPFRC contendo metacaulim**. In: CINPAR 2021 - Congresso Internacional de Patologia e Recuperação de Estruturas. [S.l.]: [s.n.], 2021. DOI: 10.4322/CINPAR.2021.029. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/CINPAR.2021.029>. Acesso em: 18 nov. 2024.

GRAYBEAL, B. A. **Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete**. Federal Highway Administration, Report No. FHWA-HRT-06-103. 2006.

GEISENHANSLÜKE, C. 2008. **Einfluss der Granulometrie von Feinstoffen auf die Rheologie von Feinstoffleimen**. Universität Kassel, Kassel, 2008.

HABEL, K. *et al.* Development of the mechanical properties of an Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC). **Cement and Concrete Research**, [s. l.], v. 36, n. 7, p. 1362-1370, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE CONCRETO. **Concreto**: Material Construtivo mais consumido no Mundo. São Paulo: IBRACON, 2009.

ISERHARD, J. L. R. de F. **Contribuição ao estudo da viabilidade da cura do concreto por energia solar**. 2000. 181 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

LOWKE, D. *et al.* **Control of Rheology, Strength and Fibre Bond of UHPC with Additions** – Effect of Packing Density and Addition Type. In: 3rd International Symposium on UHPC and Nanotechnology for High Performance Construction Materials., 2012.

MANGULKAR, Mn; JAMKAR, Ss. Review of Particle Packing Theories

Used For Concrete Mix Proportioning. **International Journal Of Scientific & Engineering Research**, [s. l.], v. 4, n. 5, p. 143–148, 2013. Disponível em: <<http://www.ijser.org/researchpaper%5CReview-of-Particle-Packing-Theories-Used-For-Concrete-Mix-Proportioning.pdf%5Cnhttp://www.ijser.org/researchpaper/Review-of-Particle-Packing-Theories-Used-For-Concrete-Mix-Proportioning.pdf>>. Acesso em: 18 nov. 2024.

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

MÜLLER, H. S. **Betonbautechnik** - neue Entwicklungen im Überblick. In: Innovationen in der Betonbautechnik 3. Symposium Baustoffe und Bauwerkserhaltung., 2006.

PEDROSO, F. Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem. **Concreto**: material construtivo mais consumido no mundo. Nº 53, p. 14, jan. fev. mar., 2009. Disponível: https://ibracon.org.br/publicacoes/revistas_ibracon/rev_construcao/pdf/revista_concreto_53.pdf, Acesso em: 25 fev. 2024.

PERRY, V. M. F.; PARSEKIAN, A. G. Nova Fronteira para o Concreto. **Revista Estrutura**, p. 25–33, 2019.

RECENA, F. A. P.; PEREIRA, F. M. Produção e Controle de Concreto em Obras. In: ISAIA, G. C. **Concreto: ciência e tecnologia**. São Paulo: 2011.

RICHARD, P.; CHEYREZY, M. Composition of reactive powder concretes. **Cement and Concrete Research**, [s. l.], v. 25, n. 7, p. 1501–1511, 1995.

ROMPA, D. D; GIDRÃO, G. de M. S. **Caracterização mecânica da rigidez e resistência do concreto de ultra-alto desempenho reforçado por fibras (UHPFRC)**. Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 73-88, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/9zRp8MZVF9wzyQ75LvJmx8g/>. Acesso em: 18 nov. 2024.

SABIR, B.B; WILD, S Wild; BAI, J. Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review Original Research Article **Cement and Concrete Composites**, Volume 23, Ed. 6, p. 441 – 454, 2001.

SOLIMAN, N. A. **Development of ultra-high-performance concrete (UHPC) using waste glass materials** - towards innovative eco-friendly concrete. 2016. [s. l.], 2016.

TORREGROSA, E. C. **Dosage optimization and bolted connections for UHPFRC ties**. Universitat Politècnica de València. Dosage, [s. l.], 2013.

TOUTLEMONDE, F.; RESPLENDINO, J. **Designing and Building with UHPFRC**. Marseille: 2009.

WARNOCK, R. **Flexural Behaviour of Steel-Fibre Reinforced Reactive Powder Concrete Beams**. University of New South Wales, [s. l.], 2005.



Essa Revista foi desenvolvida utilizando-se os seguintes *softwares* livres:

Scribus (diagramação eletrônica): scribus.net

Inkscape (finalização de ilustrações): inkscape.org/pt-br

LibreOffice Calc (finalização de quadros e tabelas): pt-br.libreoffice.org

Faculdade de Tecnologia Victor Civita (Fatec Tatuapé)

Rua Antônio de Barros, 800

CEP 03401-000 - São Paulo - SP

<https://fatectatuape.cps.sp.gov.br>