

CONCRETOS ESPECIAIS: CARACTERÍSTICAS E USOS DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE VIDRO

Bruno de Oliveira Terassovich e Maria Augusta Justi Pisani.

Apoio: PIBITI CNPq

RESUMO

Com a crescente evolução dos softwares de arquitetura paramétrica, os estudos de materiais, que reproduzam as geometrias complexas, crescem todos os anos para ampliar as possibilidades criativas do projeto. O material abordado nesta pesquisa é o concreto reforçado com fibra de vidro (CRFV) aplicado em painéis leves. Criado desde 1970, ele vem sendo utilizado em: obras de restaurações, por conta da redução de peso que podem oferecer; e em projetos da construção civil nas últimas duas décadas, para possibilitar formas mais orgânicas em fachadas e outros componentes de suas obras. A arquiteta em destaque é a Zaha Hadid, que realizou, em seus últimos projetos a arquitetura com geometrias complexas como os painéis. A pesquisa também apresenta as dificuldades do uso e implementação do CRFV no mercado nacional. Deste modo, a metodologia do trabalho partiu da identificação das bibliografias que melhor apresentam dados sobre o material, consolidá-las em um único lugar e apresentar de forma clara e objetiva, utilizando, as obras selecionadas, como exemplos de aplicação do material escolhido. Os resultados desta pesquisa poderão alimentar novas investigações e aplicações de CRFV.

Palavras-chave: Concreto com fibras de vidro; painéis leves; processos construtivos.

ABSTRACT

With the growing evolution of parametric architecture software, materials studies, which reproduce complex geometries, grow every year to expand the creative possibilities of the project. The material covered in this research is fiberglass reinforced concrete (CRFV) applied in lightweight panels. Created since 1970, it has been used in: restoration works, due to the weight reduction they can offer; and in civil construction projects in the last two decades, to enable more organic forms in facades and other components of their works. The highlighted architect is Zaha Hadid, who in her latest projects carried out architecture with complex geometries such as panels. The research also presents the difficulties of using and implementing CRFV in the national market. Thus, the work methodology started from the identification of the bibliographies that best present data on the material, consolidate them in a single place and present them in a clear and objective way, using the selected works, as examples of application of the chosen material. The results of this research may feed new investigations and applications of CRFV.

Keywords: Concrete with glass fibers; lightweight panels; constructive processes.

1. INTRODUÇÃO

Na natureza, elementos cimentícios existem a milhares de anos, embora diferentes dos que conhecemos atualmente, eles estão presentes desde os primórdios do espaço construído. Há vestígios da utilização desses elementos datados há 4.500 anos (NEVILLE, 2016, p. 01). Além disso, o homem sempre necessitou de abrigo e proteção para sua sobrevivência, e a rocha esteve presente na maioria das soluções para essa necessidade.

Os antigos egípcios utilizavam gesso impuro. Os Gregos e Romanos utilizavam calcário calcinado e, mais tarde, aprenderam a adicionar areia e pedra fragmentada ao calcário e a água. Sendo esse o primeiro concreto da história (NEVILLE, 2016, p. 01).

Observa-se que esses elementos tão duradouros foram capazes de proporcionar na época, como, por exemplo, as argamassas empregadas nas obras egípcias, como as três grandes pirâmides de Gizé e a esfinge do Egito, ou mais para a frente encontrando obras gregas e romanas, como o concreto empregado no Panteão Romano e no Coliseu, a base de cimento pozolâmico. (HELENE, 2007, p. 909) Diante disso, os aglomerantes, argamassas e concretos foram sendo aprimorados com o decorrer dos anos devido a tecnologia e pesquisa em cima deles, se adequando a diversos aspectos de uma obra.

Vale ressaltar que, o concreto muitas vezes é apresentado como um dos materiais mais antigos da humanidade, sendo empregado desde o império romano, porém, isso não é inteiramente verdade. O material passou por um período de esquecimento durante os séculos da Idade média, e só veio a ser utilizado próximo do século XIX (LOPES, 2020, p.68), com o início da revolução francesa.

Desse modo, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, [201-]), o grande avanço para indústria foi datado em 1824, quando o inglês Joseph Aspdin criou uma mistura a partir da queima de pedras calcárias e argila, que após seca, se tornava tão dura quanto as pedras em si empregadas, além de ser impermeável. Sendo assim, no mesmo ano o material foi denominado de cimento Portland, por possuir semelhanças as rochas presentes na ilha britânica, Portland.

Mais adiante, nos fins do século XVIII e princípios do século XIX, a arte de projetar e construir passa por uma das suas maiores mudanças, e recebe um de seus grandes nomes, Joseph Louis Lambot, considerado pai do concreto armado, que expõe um barco construído de cimento e ferro na Exposição Mundial de Paris, mostrando ao mundo possibilidades da tecnologia. Suas pesquisas levam, em 1875, a construção da primeira ponte de concreto armado do mundo, por Joseph Mounier. Em 1901, o edifício de sete pavimentos, também em Paris, para a empresa de François Hennebique (Bunder, 2016, p. 10). Esses são alguns dos

primeiros exemplos do concreto armado diante dos inúmeros projetos que utilizaram o mesmo material no período moderno da arquitetura.

O crescimento do setor da construção civil e do emprego do concreto armado possibilitaram o crescimento de estudos que favoreceram obras maiores e mais resistentes, porém há a necessidade de se buscar alternativas ao uso convencional e investir no que há de mais promissor atualmente nesse meio tecnológico e nanotecnológico. (RODRIGUES, 2017, n.p.)

Outro ponto a se levantar é que desde o início da década 1960, os arquitetos possuíam basicamente as mesmas ferramentas de desenhos e elaboração de maquetes que seus antepassados; foi a partir de então, que softwares CAD (*Computer Aided Design*) começaram a surgir como ferramentas de trabalho (XIAOQIN WANG, 2020, p.7, tradução nossa). O que começou apenas com a possibilidade de movimentar desenhos 2D na tela do computador, tornou-se presente em todas as escolas de arquitetura como um produto indispensável, e em 1990 que softwares 3D começaram a auxiliar o desenvolvimento de projetos, introduzindo ao mercado processos paramétricos, programação visual de algoritmos, análises de desempenho estrutural, variações topológicas da forma, além do sistema BIM (*Building Information Modeling*), integrando todas essas características.

Diante das inovações digitais, muitos materiais tiveram que ser reestudados para acompanhar tal avanço tecnológico, buscando aumentar a sua durabilidade, recuperar estruturas danificadas e entender cada vez mais os mecanismos químicos e mecânicos de cada componente, para assim, possibilitar cada vez mais esses avanços. O refino da estrutura dos materiais ou a incorporação de nanopartículas permite o aumento das superfícies de contato e a reatividade, o que gera várias vantagens em termos de reforço e de eficiência. (RODRIGUES, 2017, n.p.) Desse modo, nos últimos anos vêm sendo desenvolvidos novos usos, métodos tradicionais e cálculos vêm sendo revistos para uma nova geração de concretos, os chamados, concretos especiais. Alguns deles são:

- Concreto de Alto Desempenho;
- Concreto com Sílica Ativa;
- Concreto Leve;
- Concreto Reforçado com Fibras.

O concreto de alto desempenho possui componentes da maioria dos outros concretos, de certo modo, ele é um aperfeiçoamento dos concretos convencionais. O nome original era “Concreto de alta resistência”, mas, em muitos casos, a alta durabilidade é a propriedade desejada (NEVILLE, 2016, p. 704).

A sílica ativa é um tipo de aditivo, ela está presente em alguns dos concretos de alto desempenho e um de seus principais objetivos é a alta resistência inicial, além de baixa penetrabilidade.

Já o concreto leve possui massas específicas entre cerca de 300 e 1850 kg/m³, diferenciando-se do concreto normal, que varia entre 2200 e 2600 kg/m³ (NEVILLE, 2016, p. 718), sendo assim, uma grande carga total para estrutura. Desse modo, o que caracteriza esses concretos é a substituição de parte do material sólido na mistura por vazios.

O concreto reforçado com fibras (CRF) é um compósito que pode ser utilizado como uma alternativa ao uso do concreto armado para estruturas contínuas ou pré-moldadas. Existem três tipos de fibras principais, as de metal, mais voltadas a funções estruturais; as sintéticas, das quais podem-se ramificar em diversos materiais, como polímeros; e as fibras de vidro, mais vinculadas a funções estéticas e de painéis revestimento (TECNOMOR, 2019, n.p.).

O objetivo desta pesquisa é analisar levantamentos bibliográficos sobre o GRC (*Glass Reinforced Concrete*); reunir dados; testes; avanços e estudos; finalidades e seus usos em projetos. Pretende-se contribuir com a pesquisa e desenvolvimento do material no Brasil, para melhor implementação e utilização em diversos tipos de construções.

1.1. O MATERIAL

Nessa pesquisa, o enfoque é baseado nos concretos reforçados com fibras de vidro e seus usos em grandes obras, sendo incorporados com um tipo de fibra álcali resistentes (AR) (Imagem 1).

Imagem 1: Fibras de vidro álcali resistentes.



Fonte: Concrete Countertop Institute, 2019, n.p.

O concreto, que possui as nanoestruturas complexas do cimento e de seus hidratos, é uma excelente alternativa para a manipulação e o controle de suas propriedades através da nanotecnologia (RODRIGUES, 2017, n.p.). Sendo assim, esses avanços tecnológicos

resultaram em uma arquitetura orgânica e fluída capaz de representar a maioria dos traços feitos no papel.

Os painéis de GRC são fabricados por meio da projeção de uma matriz cimentícia de alto desempenho (formada por cimento, agregados finos e aditivos) reforçada com fibras de vidro álcali-resistentes sobre um molde, na maioria dos casos, utilizando uma pistola e ar comprimido. (Imagem 2).

A composição da mistura deve seguir uma proporção rigorosa para atingir o objetivo final, qualquer mudança nos parâmetros pode influenciar nas propriedades e no comportamento do GRC, como a razão água-cimento, porosidade, densidade de preenchimento, tipo, orientação e comprimento das fibras (ISKENDER, 2018, p.6, tradução nossa). Tais especificações podem impedir o desgaste das fibras, mudanças na coloração, e até mesmo diminuir a probabilidade de rachaduras nas peças.

Imagem 2: Método de Aplicação Spray-Up.



Fonte: Stamp Painéis, 2021, n.p.

Diante disso, o material combina alta resistência à compressão das argamassas de cimento para aumentar significativamente a resistência a impactos, flexão e tração obtidos a partir das fibras de vidro. Partindo da fórmula básica da mistura, a autora, Anna Pazdur-Czarnowska (2019, tradução nossa), abordou em seu artigo a definição de cada um dos componentes:

Fibras de Vidro Álcali Resistentes (AR)

Devido à alta alcalinidade do concreto, as fibras de vidro convencionas acabam sendo corroídas por ele ao decorrer do tempo, transformando em uma mistura convencional de concreto. Com isso, testes em laboratórios mostraram que as fibras necessitam de ao menos 16% de Zircônia para se adequar aos níveis do concreto, sendo assim, fibras álcali resistentes.

Cimento

O cimento mais utilizado em sua composição é o Portland comum, que no Brasil é identificado como CP-V-ARI (cimento Portland de Alta Resistência Inicial), recomendado para a produção de elementos pré-fabricados devido à rapidez com que atinge um grau de resistência adequado para a desforma da peça (LOPES, 2020, p.g.74).

Areia

Recomenda-se areia de sílica com graduação adequada a cada método. A forma da partícula é de preferência redonda ou irregular. Para spray GRC, o tamanho máximo de partícula é geralmente limitado a 1,2 mm; para a pré-mistura, o tamanho máximo de partícula pode ser 2,4 mm.

Água

A água deve ser limpa e livre de substâncias deletérias e deve atender aos padrões relevantes para ser usado na mistura. Água potável é normalmente adequada.

Materiais Pozolânicos

PFA (Perfluoroalcoxi-alcanos), GGBS (*Ground Granulated Blast-furnace Slag*), Metacaulim, Microsílica e pó de vidro moído são uma gama de materiais pozolânicos que podem ser usados para substituir parcialmente o cimento para ter um efeito benéfico nas propriedades ou para gerar menor impacto ambiental. Eles funcionam reagindo com a cal livre produzida durante o processo de hidratação.

Polímero

Polímero termoplástico acrílico é adicionado à mistura GRC para permitir uma cura a seco subsequente e para aprimoramento de propriedade, particularmente, a redução de fissuras de superfície.

Pigmentos

Pigmentos ou dispersões em pó podem ser usados para obter um efeito de cor específico.

Tintas e selantes

Tintas e selantes podem ser aplicados ao GRC, como por exemplo: tintas de látex para alvenarias; selantes hidrofóbicos; revestimento transparente de silano para reduzir o movimento de umidade e eflorescências.

Ainda vale ressaltar que os painéis pré-fabricados em GFR podem conter isolantes térmicos e acústicos, conforme as condicionantes do projeto, o que favorece a questão da

sustentabilidade, por diminuir o uso de lãs e espumas isolantes, que não são recicláveis e, em alguns casos, tóxicas. Além disso, seus componentes causam pouco impacto ao meio ambiente: os elementos de vidro partem de materiais reutilizáveis ou recicláveis; o cimento possui em sua mistura cinzas volantes produzidas em chaminés de indústrias; e seu acabamento a base de água não emite poluentes ou toxinas quando produzidos (PAZDUR-CZARNOWSKA, 2019, p. 4, tradução nossa).

As explorações de envelopes geometricamente complexos, durante a vanguarda digital arquitetônica, levaram a um repensar das superfícies. O concreto reforçado com fibra de vidro encontrou-se no centro de interesse dos arquitetos especializados em projeto de geometrias complexas, sendo este, portanto, diretamente relacionado com a contemporaneidade e a tecnologia, tanto em sua composição e aplicação, quanto na origem de sua demanda.

Os painéis de CRF (concreto reforçado com fibras) podem ser empregados como alternativa ao uso de painéis de concreto ou em outras situações em que as tecnologias atualmente disponíveis se mostrem pouco adequadas, como na restauração de edifícios de valor histórico, na reconstituição de materiais não mais disponíveis e na reabilitação de estruturas antigas ou danificadas (SILVA; JOHN, 1998, p. 2).

Seus usos já estão presentes em diversos campos e funções, como: reservatórios e canais de irrigação no campo da agricultura; dutos e shafts; bancos; lixeiras e canteiros utilizados como mobiliários urbanos e restauro e revestimentos arquitetônicos em edifícios; elemento que esta pesquisa se dedicará.

Os exemplos já estão espalhados por todo o mundo, como na Igreja Sagrada Família, em Barcelona, Espanha, que possui, na obra de finalização do projeto, componentes de GRC devido à sua leveza e fácil maleabilidade (imagem 3). Como também na Catedral Metropolitana de São Paulo, onde, em 2002, passou por uma reforma e o GRF foi escolhido em substituição ao granito por permitir a redução do peso total da estrutura (LORENZONI, 2004, n.p.) (Imagem 4).

Os painéis possuem espessura de 6 a 12mm, dependendo da sua finalidade, e seu peso varia de 2000 a 2600 kg/m³; suas dimensões podem ser diversas, normalmente trabalhadas em 2 metros de largura por 3 metros de comprimento. Dimensões superiores a essa podem criar elementos pesados, não econômicos e com dificuldade de manuseio.

Imagem 3: Igreja Sagrada Família, Espanha.



Fonte: ArchDaily, 2020, n.p.

Imagem 4: Reforma da Catedral Metropolitana de São Paulo, 2002.



Fonte: Cunha, 2011, p. 14.

Se comparado à alvenaria convencional, o GRC pode agregar leveza e velocidade na instalação e como é um produto pré-fabricado, permite o projeto e a execução dos componentes com maior controle de qualidade, além de facilitar o transporte devido ao seu peso. (TECNOSIL, 2018, n.p.).

A empresa Lindner-Group vêm implementando em diversos campos o material, sendo aplicados em cinemas, hotéis, interna e externamente em edifícios de escritórios e teatros; porém, o destaque aqui dado será voltado para obras de estações de trens e áreas públicas. (Imagem 5). Com um crescente risco de atividades terroristas na sociedade, infelizmente é necessário preparar áreas públicas contra possíveis ataques, principalmente em pontos com grande circulação de pessoas, que normalmente são os alvos desses eventos. Nesses casos,

não é somente a possibilidade de uma bomba que pode ferir pessoas no ambiente, mas ela pode acarretar o lançamento de fragmentos de vidros estilhaçados; pedaços de concreto ou metal soltando-se de suas estruturas, assim como revestimentos e forros colapsando e caindo sobre os visitantes.

Imagem 5: Estação do Parlamento, Otawwa / Lindner Group.



Fonte: Lindner Group, 2014, n.p.

Aprovado em testes, os painéis demonstraram ser capazes de suportar cargas típicas de explosivos improvisados, aguentando uma pressão de explosão, com painéis de no mínimo 6mm de espessura, em média de 150kPa, e atendendo a testes e requerimentos do PBIED (Person-Borne Improvised Explosive Device – Ou Dispositivo Explosivo Improvisado Criado por Pessoas). (Imagem 6) (LINDNER GROUP, 2014, tradução nossa).

Imagem 6: Resultado de Teste PBIED em GFR / Lindner Group.



Fonte: Lindner Group, 2014, n.p.

Diante de suas propriedades surpreendentes e, portanto, uma grande variedade de métodos de uso, inspirou, entre outros, a arquiteta Zaha Hadid. O Concreto Reforçado com Fibras de Vidro (CRFV) e Poliéster Reforçado com Fibras de Vidro (PRFV) foram escolhidos

como materiais de revestimento ideal para a maioria de suas obras, pois possibilitam plasticidade do projeto do edifício, respondendo a diferentes demandas funcionais relacionadas a uma variedade de situações: praças, zonas de transição e envelopes. (ARCHITECTS, 2013, n.p, tradução nossa).

Um dos exemplos mais expressivos é o centro Heydar Aliyev, no Azerbaijão, construído em 2012, e considerado um dos mais importantes trabalhos da autora, que consiste em uma concha de estrutura metálica, vedado por painéis de concreto reforçado com fibras de vidro e seu suporte vertical sendo realizado nas paredes internas (ALVAREZ, 2009, p.1266, tradução nossa), essas escolhas foram tomadas para criar amplos ambientes internos sem a utilização de pilares, onde o chão flui para as paredes e das paredes para o teto, seguindo um conceito islâmico de arquitetura.

Nesse projeto, softwares paramétricos exerceram um importante papel para a criação da casca, essa habilidade de detalhamento e criação individual de cada painel possibilitou que o edifício contasse com uma aparência monolítica, não apenas para torná-lo um volume único, mas também criar uma relação contínua entre a superfície da praça até o topo dele. (ZAHA HADID LTD, 2012, n.p., tradução nossa)

A complexa fachada do Centro (imagem 7) consiste em 18 mil painéis de aproximadamente um por dois metros, sendo compostos por Fibra de Polímero Reforçada (FPR) e Concreto Reforçado com Fibras de Vidro (CRFV). Por se tratar de uma superfície tão orgânica, a repetição de painéis foi muito baixa comparadas ao total, criando diversos painéis únicos, um fato interessante, é que a produção desses painéis correu aproximadamente 70 painéis por dia. (ZAHA HADID LTD, 2012, n.p., tradução nossa)

Imagem 7: Centro Heydar Aliyev, Azerbaijão / Zaha Hadid Architect.



Fonte: Zaha Hadid Architect, 2013, n.p.

Segundo as informações cedidas pelo escritório Zaha Hadid Architects (2008, tradução nossa), o concreto reforçado com fibra de vidro foi o material escolhido para o revestimento do Pavilhão-Ponte, (imagem 8), por conta da sua característica de fácil adaptação a forma, que no caso são curvas complexas e cruas. Essas formas, inspiradas na natureza, são compostas por painéis triangulares que, refletidos, mesclam a pele externa do pavilhão com o entorno.

Imagem 8: Pavilhão Ponte de Zaragoza, Espanha / Zaha Hadid Architects.



Fonte: Zaha Hadid Architects, 2008 n.p.

Construído com o intuito de ligar a estação ferroviária da cidade espanhola a uma das principais entradas da Exposição de Zaragoza, em 2008, essa travessia contém em seu interior quatro espaços de exposições e áreas de ligações entre eles. Sua pele externa foi composta de 10 variações de painéis triangulares de GFR, compondo 26500 painéis ao todo.

Toda essa fluidez que Zaha Hadid conseguiu transportar do papel para suas obras foi graças a esses avanços do material estudado, podendo criar uma vedação, leve, orgânica e precisamente calculada.

1.2. PROBLEMÁTICA

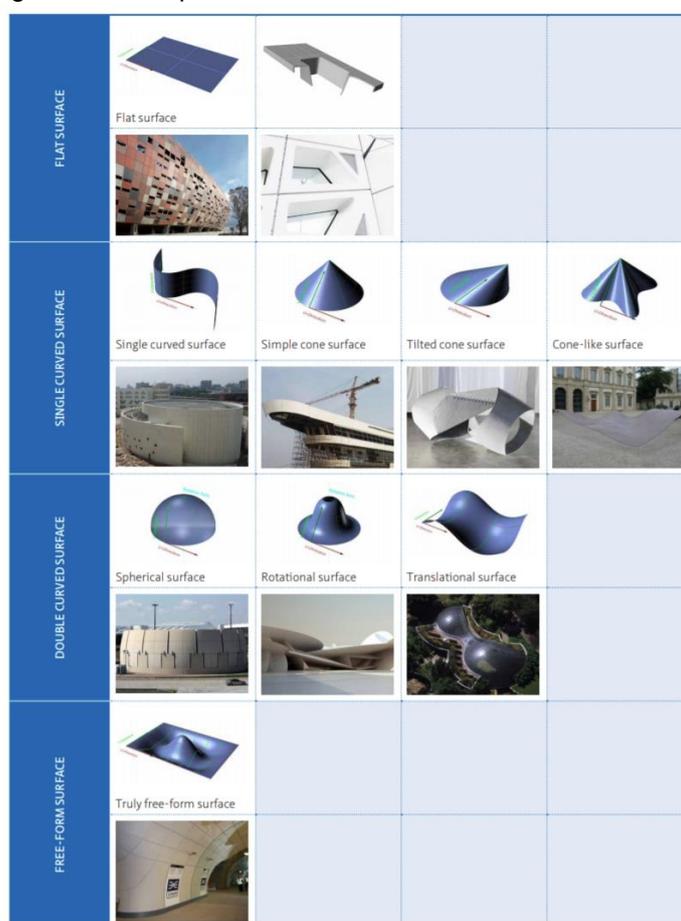
O concreto reforçado com fibras de vidro vem sendo usado em diversas aplicações, tais como: finas placas de revestimento; revestimentos internos e externos em edifícios; uma pele complexa e orgânica sob uma estrutura metálica para a completa e única vedação da obra. A popularidade desse material vem crescendo com os avanços tecnológicos dos CAD/BIM softwares, e devido sustentabilidade no seu ciclo de vida.

Segundo a Associação Internacional de Concreto Reforçado com Fibras de Vidro (2021, tradução nossa), entre outros autores, como Tecnosil (2018), o GRF é um concreto promissor, principalmente por exercer baixo impacto ambiental, ele se mostra como uma alternativa a diversos tipos do concreto convencional, além de poder agregar geometrias

complexas e velocidade na construção da obra, o material pode suprir diferentes necessidades, como a autora Anna Pazdur-Czarnowska (2019, tradução nossa) nos mostra em seu relatório técnico, que os painéis podem ser isolantes térmicos e acústicos, de acordo com a sua espessura e aditivos acrescentados na composição, sem necessitar do uso de espumas e isolamentos tradicionais que são altamente poluentes e em alguns casos, tóxicos.

Diante disso, um dos grandes atrativos dos painéis também são a sua capacidade de se moldar entorno de uma ampla e complexa fachada. Thomas Henriksen (2017, tradução nossa) expos diversos formatos e finalidades (Imagem 9) que se pode obter com o material, demonstrando que ele é mais flexível que o concreto convencional quando aplicado em painéis complexos.

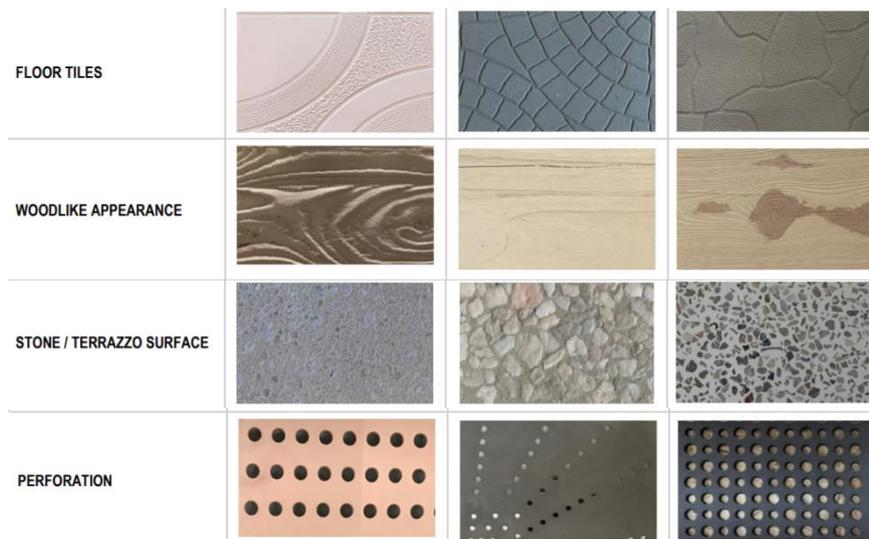
Imagem 9: Formas geométricas aplicadas ao GFR.



Fonte: Tomas Henriksen, 2017, p. 75.

Além disso, os painéis lisos e complexos pode alcançar diversas texturas e acabamentos, como demonstrado pela empresa Lindner-Group (2012, tradução nossa). (Imagem 10)

Imagem 10: Possibilidades de moldagem e texturas de superfície.



Fonte: Lindner-Group, 2012, n.p.

O GRF pode substituir: concreto convencional; materiais que imitam madeira; brises e chapas de proteção solar; e acabamentos em texturas de pedras, trazendo todos seus benefícios a obra e ao meio ambiente.

Os empecilhos em se aplicar o produto são: necessidade de equipamentos específicos para produção; mão de obra especializada; algumas etapas artesanais para a produção de moldes únicos e complexos; e produção em baixa escala. Na tabela 1, a seguir, vemos que a dificuldade é proporcional a complexidade (Thomas Henriksen, 2017, p. 66, tradução nossa) onde, quanto maior a quantidade de “asterisco”, maior complexidade de produção em larga escala:

Tabela 1: Conforme maior a complexidade dos painéis, maior a dificuldade (*) de produção.

Complexidade da forma	Superfície homogênea	Bordas curvas	Curvatura constante	Alteração de curvatura	Alteração de curvatura e bordas curvas
Plano	*	**	X	X	X
Única curva	**	***	****	*****	*****
Dupla curva	***	****	*****	*****	*****
Forma livre	***	*****	X	*****	*****

Fonte: Thomas Henriksen, 2017, p. 66.

Nota-se que painéis homogêneos e planos são os mais fáceis de produzir. As dificuldades começam a surgir quando se aplicam curvas nas bordas, alteração na curvatura total, e na criação de formas livres. A maior dificuldade do processo é a criação dos moldes.

Atualmente, para moldes simples e planos, as formas são criadas em madeira, justamente por não serem complexos e usados em maior escala; já elementos de maior dificuldade, como aqueles que possuem forma livre e com alterações na curvatura, exigem a

criação de moldes específicos, que pode ocorrer de serem utilizados uma única vez e descartados; porém, com os avanços tecnológicos, esses painéis começam a obter soluções mais simples como, por exemplo, mesas flexíveis, onde um mecanismo inferior, controlado por softwares, gera a superfície do molde. (Imagem 11)

Imagem 11: Testando a produção de painel GRF produzido em mesa flexível



Fonte: Thomas Henriksen, 2017, p. 81.

Diante disso, essas técnicas continuam tendo avanços tecnológicos mostrando que as dificuldades que o material apresenta estão sendo resolvidas, facilitando o uso construções complexas.

2. DESENVOLVIMENTO DO ARGUMENTO

Os estudos sobre esse tipo de concreto ainda estão se ampliando em território nacional e poucas empresas o utilizam. As duas concreteiras que tinham se habilitado a disponibilizar suas instalações para pesquisa em laboratórios e obras cancelaram a disponibilidade após os problemas originados com a pandemia da COVID-19, uma delas, cessou a fabricação dos painéis por não encontrar a quantidade de interesse necessário para a produção e investimento para iniciar as produções no país. Diante desses fatos, empresas e publicações internacionais foram o foco de busca de referências bibliográficas sobre teoria e prática.

Arnon Bentur (1990), autor da obra “Compósitos cimentícios reforçados com fibras”, que aborda dados científicos sobre o material, propriedades específicas de como ele pode ser preparado, suas matrizes e a descrição dos processos de produção e dos aspectos físicos e mecânicos.

A partir de janeiro de 2006 entraram em vigor duas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, a NBR 15305:2005 - Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - Procedimentos para o controle da fabricação e a NBR 15306:2005 - Parte 4: Medição da resistência à flexão - Método "ensaio simplificado de flexão". Estas normas são referenciais importantes porque descrevem as técnicas para o uso de elementos produzidos com fibra de vidro no Brasil.

O segundo autor, Thomas Henriksen (2017, tradução nossa), desenvolveu estudos avançados baseados na fabricação das complexas geometrias do GRC que compõem as envoltórias, os “envelopes” de edifícios modernos. Sua pesquisa data as características da utilização desse componente nas fachadas, seus problemas e soluções, diferentes métodos de aplicação, além de testar algumas das soluções.

Os estudos de Antônio de Paulo Perruzi e Antônio D. Figueiredo (2002) sobre o comportamento das fibras de vidro em matrizes de cimento Portland, e a ação das fibras no concreto, utilizando seus dados e ensaios para agregar na pesquisa.

O livro mais atual da arquiteta pesquisada, Zaha Hadid. Complete Works 1979-Today. 2020 Edition (2020, tradução nossa), buscando trazer as informações mais atuais sobre as obras estudadas da arquiteta.

A base de arquivos e dados da empresa Lindner-Group (2014, tradução nossa), pioneira no uso do GFR na Europa, possuem diversos exemplos de obras e testes realizados com o material, mostrando seus diversos acabamentos, possibilidades de usos, e testes laboratoriais.

Imagens e vídeos entregues pela empresa Stamp Painéis, do grupo Béton Préfabriqué, mostrando como os procedimentos de criação dos painéis, sendo possível conhecer melhor o material no dia a dia, conhecendo os métodos de preparação, spray-up, retirada do corpo de prova das fibras e desforma.

Além de sites de empresas e companhias que realizam estudos com determinados materiais, como por exemplo, a Associação Internacional de Concreto Reforçado com Fibra de Vidro - tradução direta da sigla GRCA – associação britânica criada a mais de 45 anos que engloba empresas e companhias buscando criar e compartilhar um padrão de nível a se atingir com o material, realizando eventos, conferencias e criação de normas, além de disponibilizar diversas informações, estudos e publicações técnicas ao público por meio da internet. (GRCA INTERNATIONAL, 2021, tradução nossa)

2.1. METODOLOGIA

A pesquisa envolveu várias etapas, iniciando com os levantamentos bibliográficos em artigos científicos e técnicos. Os estudos de caso foram desenvolvidos de acordo com os critérios apontados por Robert Yin (2001) em seu livro Estudos de caso: planejamento e métodos. As etapas a seguir foram empregadas de forma sequencial ou paralelas:

a) Levantamento dos referenciais bibliográficos (recorte temporal de 2008 a 2021): foram detectadas referências secundárias para compor a pesquisa sobre os tipos de concretos especiais, assim como, resultados de testes técnicos de porcentagem da

composição, tipos de materiais empregados, características e comportamento. A consulta foi realizada em acervos de bibliotecas e artigos científicos filtrados no buscador Portal CAPES e no Google Acadêmico;

b) Levantamento de obras e construções: a partir do levantamento, foram selecionadas quatro obras para o estudo de caso;

c) Contato com empresas que empregam concreto com fibra de vidro: empresas, nacionais e internacionais, foram consultadas na busca pelas que realizassem, ou realizaram, obras com o tipo de painel;

d) Levantamento iconográfico;

e) Discussão de relatórios obtidos;

f) Elaboração de relatórios parciais;

g) Elaboração da redação final e entrega do artigo.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diversos usos que o concreto atingiu desde sua criação são inquestionáveis, porém, com a evolução da tecnologia; e as formas mais complexas que a arquitetura contemporânea adotou, o material teve que ser reestudado para acompanhar esses avanços.

Desse modo, os painéis reforçados com fibra de vidro apresentaram-se como um substituto promissor dos realizados com concreto convencional nos seguintes pontos: elaboração de envelopes complexos de edifícios; podendo ser moldado em diferentes formas; a atingir graus de curvatura que, com o concreto convencional seria difícil de realizar; causar menor impacto ambiental durante seu ciclo de vida; e a redução peso total na estrutura.

No mercado internacional, o GRF possui uma amplitude e consolidação no setor da construção civil, possuindo vários tipos de utilização, como visto em quatro das cinco obras estudadas nesta pesquisa. Em contrapartida, em território nacional, o material fica, em sua maior parte, no campo bibliográfico, ainda que pequeno comparado ao internacional. Poucas empresas realizaram testes com painéis do material, alegando que para que a produção seja lucrativa, tenha que ser aplicada em larga escala, o que não foi encontrada no país, tendo a recente pandemia como mais um obstáculo, onde gastos extras foram cortados, e investimentos reduzidos, dificultando o acesso e contato, físico e presencial, do autor da pesquisa com o material.

No Brasil, as pesquisas tecnológicas devem crescer para que o material seja mais empregado. Quanto mais aplicação e uso o GRF tiver, mais acessível ele será para o mercado interno. Uma das vantagens deste avanço será a possibilidade de se produzir arquitetura de

formas mais complexas e obras de restauro de maneira factível. Os resultados obtidos neste trabalho podem auxiliar o interesse em novas pesquisas e aplicação do concreto reforçado com fibras de vidro.

4. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Uma breve história do cimento Portland**. [201-]. Disponível em: <https://abcp.org.br/cimento/historia/>. Acesso em: 02 set. 2021.

ALVAREZ, Jaime Sanchez. **Practical aspects determining the modelling of the space structure for the free-form envelope enclosing Baku's Heydar Aliyev Cultural Centre**. 2009. 12 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Politecnica de Valencia, Valencia, 2009. Disponível em: https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7071/PAP_SANCHEZ_1263.pdf?sequence=1&iSAllowed=y. Acesso em: 02 set. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR – 15305:2005 - Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro, ABNT, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR – 15306-4:2005 - Produtos pré-fabricados de materiais cimentícios reforçados com fibra de vidro - Método de ensaio, ABNT, 2005

BENTUR, Arnon. **Fibre reinforced cementitious composites**. New York: Elsevier Science Publishers Ltd, 1990. 449 p.

BUNDE, Jeferson. **O Concreto: sua origem, sua história**. 2016. 20 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia da Arquitetura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: https://www.academia.edu/30709030/O_CONCRETO_SUA_ORIGEM_SUA_HIST%C3%93RIA?auto=download. Acesso em: 02 set. 2021.

CUNHA, Carlos Elson Lucas da. **Catedral da Sé: a história da construção**. São Paulo, 2011. 21 slides. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/mackenzista2/catedral-da-s-a-historia-da-construo>. Acesso em: 02 set. 2021.

FIGUEIREDO, Antônio Domingues de. **Concreto Reforçado com Fibras**. 2011. 256 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Construção Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-18052012-112833/pt-br.php>. Acesso em: 02 set. 2021.

GRCA INTERNATIONAL. **International GRCA**. 2021. Disponível em: <https://www.grca.online/>. Acesso em: 02 set. 2021.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Concreto de Cimento Portland: materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia dos materiais**. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. São Paulo: Ibracon, 2007. Capítulo 29. Disponível em: <http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc48.pdf>. Acesso em: 02 set. 2021.

HENRIKSEN, Thomas. Advancing the manufacture of complex geometry GFRC for today's building envelopes. *A+BE / Architecture and the Build Environment*, [S.l.], n. 5, p. 1-194,

junho de 2017. Disponível em: <https://journals.open.tudelft.nl/index.php/abe/article/view/1798>. Acesso: 02 set. 2021.

HORSLEY, F. W. Recommended Practice for Glass Fiber Reinforced Concrete Panels. [s.l.: s.n.].

INSTITUTE, The Concrete Countertop. **Fibers in Precast, GFRC, and ECC Concrete Countertops**. 2019. Disponível em: <https://concretecountertopinstitute.com/free-training/fibers-in-precast-gfrc-and-ecc-concrete-countertops/>. Acesso em: 02 set. 2021.

INTERNATIONAL 'GLASSFIBER REINFORCED CONCRETE ASSOCIATION (Reino Unido) (Org.). **Manufacturing GRC / GFRC**. 2015-2019. Disponível em: <https://grca.org.uk/>. Acesso em: 02 set. 2021.

INTERNATIONAL GRCA. **About GRC**. 2021. Disponível em: <https://www.grca.online/about-grc>. Acesso em: 02 set. 2021.

ISKENDER, Muhammed; KARASU, Bekir. **Glass Fibre Reinforced Concrete (GFRC)**. 2018. 28 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Departamento de Materiais e Ciência, Anadolu Universidade, Eskisehir, 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322931740_Glass_Fibre_Reinforced_Concrete_GFRC?enrichId=rgreq-307275d1f2838a85b5aac94cefd3140a-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMyMjkzMTc0MDtBUzo1OTA2MzEzOTA5Njk4NTZAMTUxNzgyODkwNTA5MA%3D%3D&el=1_x_2&_esc=publicationCoverPdf. Acesso em: 02 set. 2021.

JODIDIO, Philip. **Zaha Hadid. Complete Works 1979–Today**. 2020. ed. Londres: Taschen, 2020. 672 p.

LINDNER GROUP (Alemanha) (org.). **Lincrate: glass-fibre reinforced concrete**. Arnstorf: Lindner, 2014. Disponível em: https://www.lindner-group.com/fileadmin/user_upload/intranet/dienste/marketing/broschueren/lincrate_br_--en.pdf. Acesso em: 02 set. 2021.

LOPES, Eduardo Ignacio. **O concreto digital e as novas materialidades da arquitetura contemporânea**. 2020. 201 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16134/tde-29032021-233725/pt-br.php>. Acesso em: 02 set. 2021.

LORENZONI, Rogério. **Catedral da Sé: o marco zero de São Paulo**. 2004. Disponível em: <http://sp450anos.terra.com.br/interna/0,,OI256353-EI2551,00-Catedral+da+Se+o+marco+zero+de+Sao+Paulo.html>. Acesso em: 02 set. 2021.

NEVILLE, Adam M.. Concretos Especiais. In: NEVILLE, Adam M.. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. Cap. 13, p. 679. Tradução de Ruy Alberto Cremonini.

PAZDUR-CZARNOWSKA, Anna. **Ecological Properties of Glass Fibre Reinforced Materials Based On Architecture of Zaha Hadid**. Praga: IOP Publishing, 2019. Materials Science and Engineering. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/471/8/082054/pdf>. Acesso em: 02 set. 2021.

RODRIGUES, Deógenes Coelho. **Inovações Tecnológicas Do Concreto: Uma Análise Do Cenário Atual Do Concreto Na Construção Civil E Suas Expectativas**. Orientador: Prof. Msc.

Jefferson Luiz Alves Marinho. 2017. 52 p. Monografia (Especialista em Gerenciamento da Construção Civil) - Universidade Regional do Cariri, Juazeiro do Norte, 2017.

SILVA, Vanessa Gomes da; JOHN, Vanderley Moacyr. **Painéis de Cimento Reforçado com Fibras de Vidro (GRC)**. 1998. Monografia (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da USP, [S. l.], 1998. Disponível em: http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00228.pdf. Acesso em: 02 set. 2021.

TECNOMOR (Santa Catarina). **Concreto Reforçado com Fibras (CRF): O que é? Para que serve?** 2019. Disponível em: <https://tecnomor.com.br/blog/concreto-reforcado-com-fibras-crf/>. Acesso em: 02 set. 2021.

TECNOSIL, Marketing. **Concreto GFRC: o que é essa novidade do ramo civil e quais suas grandes vantagens?** 2018. Disponível em: <https://www.tecnosilbr.com.br/gfrc-o-que-e-essa-novidade-do-ramo-civil-e-quais-suas-grandes-vantagens/>. Acesso em: 02 set. 2021.

THE INTERNATIONAL GLASSFIBRE REINFORCED CONCRETE ASSOCIATION (GRCA) (Reino Unido) (ed.). **GRC In action**: 1.1 Northampton: The International Glassfibre Reinforced Concrete Association, 2018. 26 p. Disponível em: <https://grca.org.uk/pdf/GRC-In-Action.pdf>. Acesso em: 02 set. 2021.

XIAOQIN WANG. **Computer aid design and manufacturing**. Hoboken: John Wiley & Sons Ltd, 2020. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=jF3IDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR17&dq=computer+aided+design+architecture+history&ots=pqBsv_nLB3&sig=3qgMMJeyXQVanvr_fkeF-dPFHb8#v=onepage&q=computer%20aided%20design%20architecture%20history&f=false. Acesso em: 02 set. 2021

YIN, Robert K.. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 200 p. Tradução Daniel Grassi.

ZAHA HADID ARCHITECTS. **Heydar Aliyev Center**. 2013. ArchDaily Brasil. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/154169/centro-heydar-aliyev-zaha-hadid-architects>. Acesso: 02 set. 2021.

ZAHA HADID ARCHITECTS(org.). **Heydar Aliyev Center**. 2013. Disponível em: <https://www.zaha-hadid.com/architecture/heydar-aliyev-centre/>. Acesso em: 02 set. 2021.

ZAHA HADID ARCHITECTS (Reino Unido). **One Thousand Museum**. 2019. Disponível em: <https://www.zaha-hadid.com/design/1000-museum/>. Acesso em: 02 set. 2021.

ZAHA HADID ARCHITECTS (Reino Unido). **Zaragoza Bridge Pavilion**. 2008. Disponível em: <https://www.zaha-hadid.com/design/zaragoza-bridge-pavilion/>. Acesso em: 02 set. 2021.

ZAHA HADID LTD (Inglaterra). **HEYDAR ALIYEV CENTER FACTS AND FIGURES**. Londres: Zaha Hadid Architects, 2012. Disponível em: <https://cdn.archilovers.com/projects/2d096f4e7dba4cfc97b15d91a9c729f8.pdf>. Acesso em: 02 set. 2021.

Contatos: brunoterassovich@gmail.com e augustajp@gmail.com