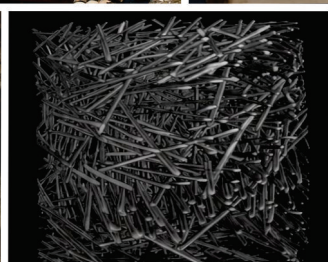
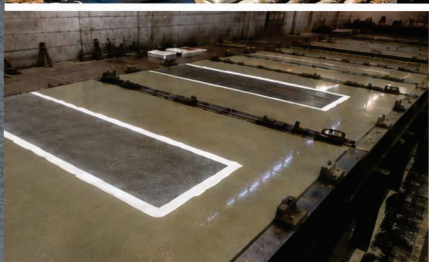


ROBERTO CHRIST • BERNARDO TUTIKIAN • PAULO HELENE



CONCRETO ^{DE} **ULTRA ALTO** DESEMPENHO **UHP**C

FUNDAMENTOS,
PROPRIEDADES
E DOSAGEM

2ª Edição revisada e atualizada

PATROCINADORES



Aditivos que
fortalecem um futuro
mais concreto



UNISINOS

Nossa sala de
aula é o mundo.



ROBERTO CHRIST
BERNARDO TUTIKIAN
PAULO HELENE

CONCRETO DE **ULTRA ALTO** DESEMPENHO



UHPC

FUNDAMENTOS,
PROPRIEDADES
E DOSAGEM

2ª Edição revisada e atualizada

PATROCINADORES



Aditivos que
fortalecem um futuro
mais concreto



UNISINOS

Nossa sala de
aula é o mundo.



São Paulo – SP
2026

SOBRE OS AUTORES



ROBERTO CHRIST

Professor Titular dos cursos de graduação em Engenharia Civil do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, onde também coordena, desde 2023, o Instituto Tecnológico em Desempenho das Construções – itt Performance (<https://www.unisinis.br/itt/performance>), auxiliando na avaliação de sistemas construtivos inovadores e no desenvolvimento de novos produtos e materiais junto a empresas do setor. Coordenador dos cursos de especialização em “Patologia e Perícia das Edificações” e “Desempenho das Edificações” da mesma universidade. É engenheiro civil, mestre e doutor em Engenharia Civil pela UNISINOS, com tese de doutorado sobre método de dosagem de concreto de ultra alto desempenho (UHPC) eleita a Melhor Tese de Doutorado na Área de Materiais de 2019 pelo Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON).

Atua como professor pesquisador visitante na Universidad de la Costa – CUC, na Colômbia, integrando os grupos de pesquisa GINS (Ingeniería para la Sostenibilidad) e o Grupo de Investigación en Construcción y Estructuras, com pesquisas em cooperação com pesquisadores de diferentes países.

É Presidente de Honra da Associação Brasileira da Patologia das Construções – Alconpat Brasil (<https://alconpat.org.br/>),

após atuar como Secretário Executivo (2014-2017), Vice-Presidente (2018-2022) e Presidente (2022-2026) da entidade, e atualmente é Vice-Presidente Técnico da Alconpat Internacional (<https://alconpat.org/index.php>). Foi Assessor (2020-2023) (e Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento (2023-2024) do Instituto Brasileiro do Concreto (IBRACON). É revisor das revistas *Fibers, Buildings, Materials, Sustainability*, *Revista Alconpat* e *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*.

Atua na área de materiais, liderando e participando de projetos de pesquisa aplicada e desenvolvimento tecnológico em parceria com empresas do setor da construção civil, com foco no concreto de ultra alto desempenho (UHPC), na patologia das construções, no desempenho e durabilidade das edificações e na industrialização da construção. É coautor dos livros técnicos “Estruturas de Concreto de Ultra Alto Desempenho (UHPC)” (IBRACON) e “Prática Recomendada IBRACON: Concreto Autoadensável”, além de um capítulo sobre concreto de alto e ultra-alto desempenho, mais de 55 artigos publicados em periódicos científicos e mais de 60 trabalhos completos em anais de congressos nacionais e internacionais. Já orientou e coorientou mais de 45 trabalhos de conclusão de graduação, especialização, mestrado e doutorado.

Entre os reconhecimentos recebidos, destacam-se o Prêmio “Epaminondas Mello do Amaral Filho” do IBRACON (2022), na categoria Destaque em Tecnologia de Estruturas de Concreto de Alto Desempenho, o 2º lugar no 24º Prêmio CBIC de Inovação e Sustentabilidade (2022) e o Melhor Trabalho de Excelência Técnico-Científica em Gestão e Controle de Qualidade nas Construções da Alconpat Internacional (2021).



BERNARDO TUTIKIAN

Professor e pesquisador da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – RS (UNISINOS), sendo docente permanente do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e do Mestrado Profissional de Arquitetura e Urbanismo e é pesquisador do Instituto Tecnológico de Desempenho para Construção Civil. Atua em vários cursos de pós-graduação, nível especialização.

Engenheiro civil, mestre e doutor em engenharia. Tem pós doutorado pela CUJAE em 2013, foi professor visitante da Universidade de *Missouri of Science and Technology* (EUA), é professor visitante na *Université de Cergy-Pontoise* (França) e foi pesquisador da *Universidad de la Costa – CUC* (Colômbia). Foi palestrante/conferencista convidado em mais de 20 países. Ministra cursos de concreto, desempenho e patologia.

É autor do livro ‘Concreto autoadensável’ e do livro ‘Patologia das Estruturas de Concreto, Aço e Madeira’, além de vários capítulos de livros na área de concreto, patologia e desempenho.

É membro permanente do Steering Board do CONSEC (*International Conference on Concrete under Severe Conditions – Environment & Loading*) e é Presidente do Comitê Editorial da Revista Concreto e Construções. Conselheiro eleito do IBRACON (Instituto Brasileiro do Concreto), ex vice-presidente e atual Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento do instituto, nas gestões

2019/2021 e 2021/2023. Presidente da Alconpat Brasil por dois mandatos, e foi vice presidente e Diretor de Jovens da Alconpat Internacional.

Já recebeu diversos prêmios e reconhecimentos de grande importância na engenharia, como Prêmio Luiz Alfredo Falcão Bauer – Destaque em Engenharia de Pesquisa em Tecnologia de Estrutura de Concreto; Investigador Productivo íbero-América na área de patologia; Comenda do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul; Prêmio VS Cidadão – Categoria Tecnologia; Homenagem em reconhecimento pelos relevantes serviços prestados ao ensino da Brigada Militar do Rio Grande do Sul; Prêmio Epaminondas Melo do Amaral Filho – Destaque do ano em engenharia no campo e projeto do projeto e construção de concreto de alto desempenho; entre outros.

Presta consultoria para empresas de construção civil na área de dosagem de concretos, desempenho e patologia. Publicou mais de 400 trabalhos em periódicos e eventos e já orientou mais de 50 mestres e doutores. É membro de comitê editorial e científico de revistas e congressos.

E-mail para contato: bftutikian@unisinos.br



PAULO HELENE

Prof. Titular da Universidade de São Paulo EPUSP-USP. Presidente do IBRACON. Coordenador da Rede Internacional REHABILITAR, programa CYTED. Presidente ALCONPAT Int., gestão 2010 a 2013 e atual Gestor.

Engenheiro Civil, especialista em “Patología de lãs Construcciones”, pelo Instituto Eduardo Torroja, Espanha (1976). PhD, *pós doc* na Universidade da Califórnia, Berkeley. Educador, renomado pesquisador e respeitado projetista e consultor de estruturas de concreto. Professor de cursos de certificação de inspetores de pontes e viadutos, do programa MasterPEC do IBRACON.

Apresenta expressivos índices acadêmicos públicos internacionais de investigação e desenvolvimento: classificado com **H₉** en web of science (ISI), **H₁₂** en SCOPUS, **h=36/24** y **i₁₀h=104/51** en Google Scholar.

Colaborador voluntário da ABNT e ativo participante do processo de normatização no Brasil. Consultor da Marinha do Brasil; do Exército do Brasil; das Usinas Atômicas de Angra dos Reis; Banco do Brasil; MIS/RJ; Índio da Costa; Aquário do Pantanal; Word Trade Center.SP; Camargo Corrêa; Odebrecht; PMSP; Ponte Rio Niterói; Promotoria Pública MA; USP, Fck Paraguay; Termo Elétrica Uruguay; Retrofit do Teatro Porto Seguro, e outras. Consultor do edifício e-Tower considerado recorde mundial

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 DEFINIÇÃO DO UHPC	24
1.2 NORMAS TÉCNICAS	27
1.3 APLICAÇÕES DO UHPC	34
 2. MATERIAIS CONSTITUINTES	 49
2.1 CIMENTO	55
2.2 MATERIAIS POZOLÂNICOS	59
2.3 AGREGADO	67
2.4 ADITIVOS QUÍMICOS	68
2.4.1 Aditivos redutores de água tipo 2 (Superplastificantes)	69
2.4.2 Desincorporador de ar	70
2.4.3 Aditivo acrílico	70
2.5 FIBRAS	71
 3. PROPRIEDADES DO UHPC NO ESTADO FRESCO	 85
3.1 EMPACOTAMENTO DAS PARTÍCULAS	88
3.2 TRABALHABILIDADE	97
3.3 PRODUÇÃO DO UHPC	103
 4. PROPRIEDADES MECÂNICAS DO UHPC	 111
4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	113
4.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	117
4.3 TENACIDADE	123
4.4 RESISTÊNCIA AO IMPACTO	125
 5. DURABILIDADE	 129
5.1 MICROESTRUTURA	131
5.2 RESISTÊNCIA AO ATAQUE QUÍMICO	134

6. MÉTODO DE DOSAGEM.....	137
6.1 ESCOLHA DOS MATERIAIS	141
6.2 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE DESVIO DE EMPACOTAMENTO – IDE.....	142
6.3 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE FIBRAS	146
6.4 MONTAGEM DO DIAGRAMA DE DOSAGEM	148
6.5 EXEMPLO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO	149
 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 161
 REFERÊNCIAS	 169



evolução da tecnologia do concreto é notória, e soluções para problemas nas obras, muitas vezes, dependem de uma boa mistura (traço do concreto) e estudo adequado da dosagem do concreto. O avanço no desenvolvimento de novos cimentos, novos aditivos redutores de água, aditivos cicatrizantes e impermeabilizantes, novas fibras com materiais de maior resistência e durabilidade, entre outros, permitiu o surgimento de vários tipos de concretos, com características especiais.

O desenvolvimento de novos compostos capazes de melhorar a execução, acabamento, qualidade e desempenho dos elementos produzidos, sejam eles pré-fabricados ou moldados *in loco*, está sempre ocorrendo. Esta melhoria é contínua e com um propósito específico: o de buscar uma solução para uma determinada demanda na qual os concretos existentes não conseguem suprir.

Concretos de alta resistência (CAR/HSC), autoadensáveis (CAA/SCC), de alto desempenho (CAD/HPC) e reforçado com fibras (CRF/FRC) são exemplos de misturas que trazem avanços para a construção civil, tanto pelas propriedades no estado fresco e endurecido, quanto

pelo aspecto econômico, devido ao aumento da durabilidade das estruturas.

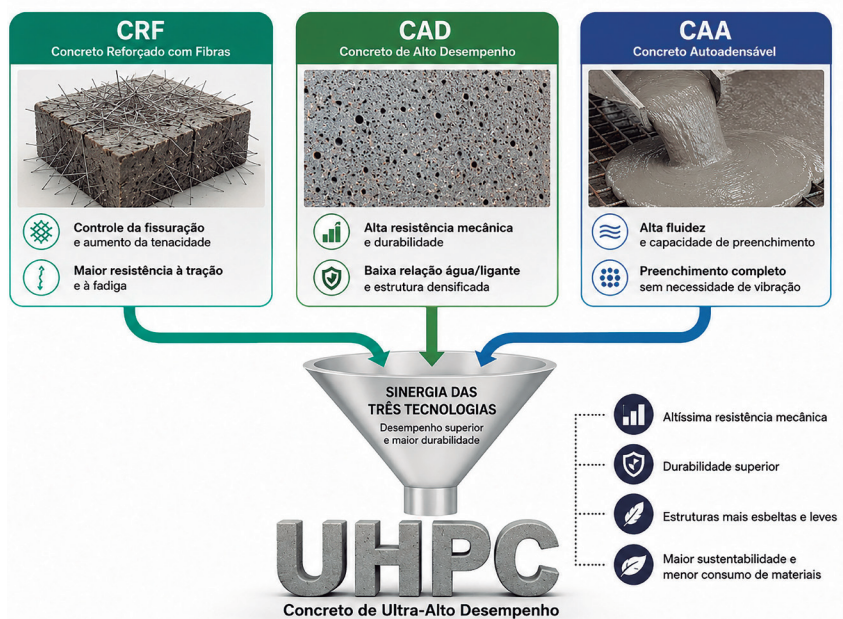
As primeiras evoluções do concreto foram baseadas somente na resistência à compressão. As primeiras estruturas de concreto armado foram projetadas com resistência não superior a 12 MPa. Concretos com resistência à compressão superior a 70 MPa foram desenvolvidos, em laboratório, no início dos anos 1950, e com resistências superiores a 140 MPa nos anos 1960 (Li, 2011), todos baseados na redução da relação água/cimento, mas com consumos de cimento elevadíssimos. Esse fato prejudicou o seu uso em larga escala e não apresentou grande interesse da indústria da construção civil. Apenas após a popularização dos aditivos redutores de água de alto poder e de adições minerais de mais alto desempenho, é que concretos de alta resistência começaram a ser mais utilizados, até chegar aos CAD.

O CAD não apresenta somente a característica de possuir elevada resistência mecânica, mas também adequada trabalhabilidade, excelente acabamento das peças, integridade e, principalmente, durabilidade frente aos agentes agressivos do ambiente. A resistência mecânica não é o que define um CAD, pois pode-se requerer outras propriedades que necessitem de um desempenho diferenciado. Concretos que, por exemplo, requerem uma situação específica de elevada trabalhabilidade, para preencher elementos com grande taxa de armadura, não precisarão apresentar, necessariamente, uma resistência diferente da convencional. Por isso, o CAA pode ser considerado um concreto de elevado desempenho. Sendo assim, o termo “desempenho” é devido a uma necessidade específica e não, necessariamente, a uma elevada resistência.

A utilização de concretos com maiores resistências ao longo do tempo é evidente e um fato justificável. Com o avanço das pesquisas e o aprimoramento dos materiais utilizados nas misturas foi possível criar produtos à base de cimentos hidráulicos que se assemelham a uma rocha. E, desta maneira, já é realidade

fissuração e para o aumento da tenacidade do material, promovendo maior capacidade resistente após a fissuração.

Figura 1 – Combinações das propriedades dos diferentes concretos



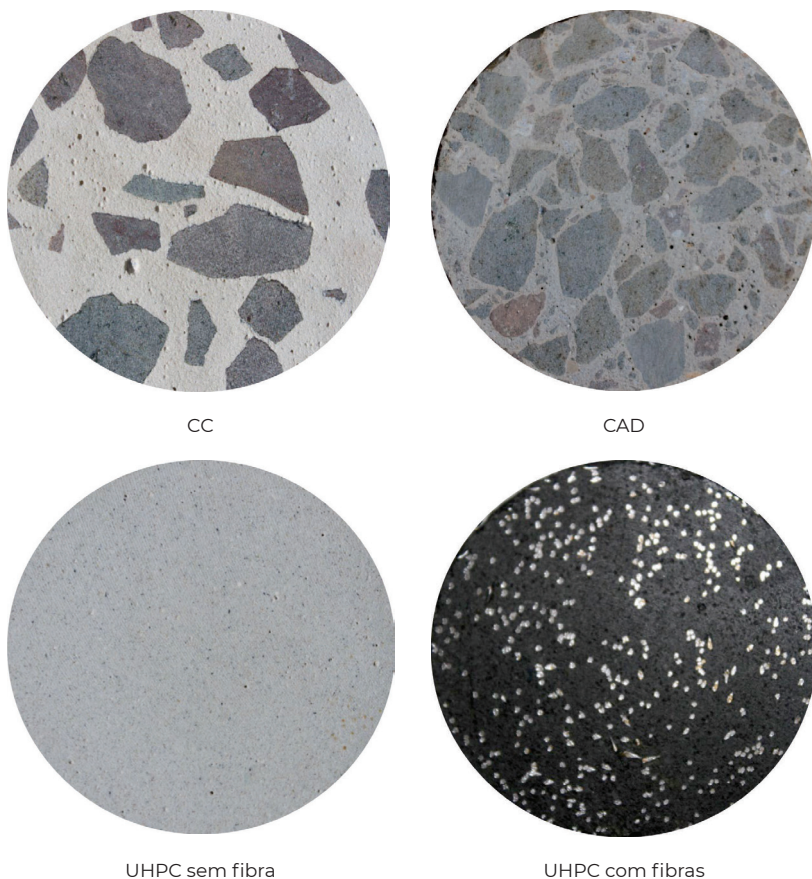
Fonte: os autores

O CAD fornece uma matriz cimentícia densificada, com reduzida porosidade e elevada resistência, enquanto o CAA garante alta fluidez e capacidade de preenchimento sem necessidade de vibração. A sinergia entre essas tecnologias possibilita a produção de elementos estruturais mais leves, esbeltos e duráveis, reduzindo consumo de materiais, custos de manutenção e impactos ambientais ao longo da vida útil das estruturas.

A Figura 2 mostra uma matriz de um concreto convencional (CC), de um concreto de alto desempenho (CAD) e de dois UHPC, um sem fibras e outro com fibras, na qual é possível notar que a diferença na zona de transição (ZT). Zona de transição é aquela região de contato entre a argamassa e os agregados, e é a mais frágil dos concretos, com maior relação água/cimento e

vazios, pois a água que está exsudando é retida sob os agregados, criando uma zona com piores propriedades mecânicas. Logo, quanto menor for a zona de transição, melhor será o concreto. No UHPC, como observa-se, praticamente não há ZT.

Figura 2 – Matriz do concreto convencional (CC), concreto de alto desempenho (CAD) e UHPC sem fibras e com fibras



Fonte: os autores

O fato de o UHPC não possuir agregado gráúdo na sua composição faz com que a existência de zonas frágeis seja eliminada, diferente dos concretos com agregados gráudos. Isso faz com que o desempenho mecânico do UHPC seja maior e a durabilidade seja superior, por apresentar uma maior densificação. Mas se



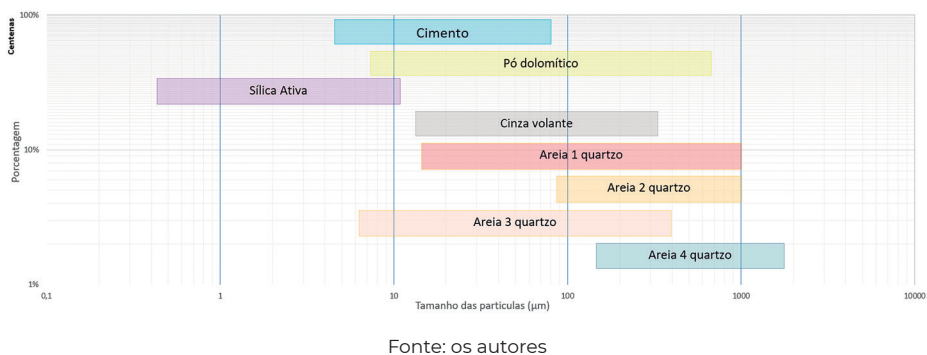
excelente desempenho mecânico do UHPC depende de uma série de fatores, como de uma mistura com empacotamento granular bem definido, com mínimo de poros capilares e elevado teor de fibras. Para que se possa desenvolver um UHPC com baixo custo é importante buscar materiais disponíveis localmente e que tenham propriedades adequadas para o uso.

Não há a necessidade de se utilizar constituintes específicos, ou de determinada mineralogia. Porém, é importante que os agregados não contenham material orgânico e, preferencialmente, sejam de origem pétreo com dureza na escala de Mohs superior a 4.

A escolha dos materiais precisa ocorrer avaliando todos os constituintes da mistura, em sinergia. Deve-se buscar componentes de faixa granulométrica variada, mesmo que de mesma origem pétreo. Recorda-se que os agregados utilizados no UHPC, normalmente, possuem granulometria muito fina, inferior a 300 μm , com uma distribuição granulométrica contínua. Por isso, devido ao elevado teor de finos, o custo dos agregados pode até ser mais elevado do que o do cimento, já que há a necessidade de moagem do composto.

E matérias-primas com esta finura não são encontradas diretamente na natureza, necessitam passar por beneficiamento. Estes constituintes são provenientes de rochas calcárias, basálticas e dolomíticas, entre outras. A Figura ilustra algumas opções e suas faixas granulométricas.

Figura 21 – Faixas granulométrica de alguns materiais para uso no UHPC

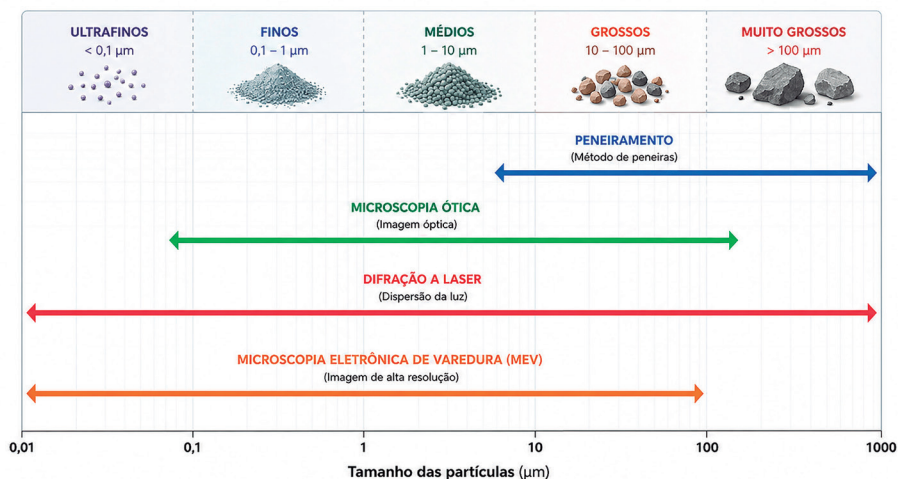


Observa-se que é preciso olhar para a sobreposição das faixas granulométricas, pois constituintes de dimensões semelhantes não trazem benefício no empacotamento das partículas, podendo até aumentar o índice de vazios.

Nesta análise preliminar não é avaliada a distribuição granulométrica, ou seja, qual a porcentagem retida em cada peneira, mas sim quais as dimensões de cada material.

Existem diferentes métodos para a determinação da porcentagem e das dimensões das partículas, que são baseados em técnicas distintas, como o peneiramento, mais comum para granulometrias maiores. Os materiais do UHPC devem ser caracterizados com outros ensaios. Cada método para a obtenção destes parâmetros possui uma faixa de atuação ideal, com precisão distinta. A Figura lustra alguns métodos para a determinação da distribuição granulométrica.

Figura 22 – Técnicas de análise de tamanho de partículas e suas faixas de atendimentos



Fonte: os autores

A microscopia eletrônica de varredura até pode determinar tamanho de grãos inferiores de 0,01 μm , porém, estes não são de interesse para o UHPC, devido ao elevado consumo de água que trariam. Ainda, esta técnica não fornece o percentual de cada dimensão de grão presente na mistura. O peneiramento é a técnica mais difundida, porém sua faixa de atuação é limitada para diâmetros maiores, principalmente, superiores a 200 μm .

A difração de raio laser, portanto, é a técnica mais apropriada para obter a distribuição e tamanho das partículas destes constituintes. É uma técnica rápida e que não requer uma preparação prévia das cerca de 50 gramas necessárias do material. A Figura 23 apresenta o equipamento.

Porém, a técnica de difração de raio laser requer uma atenção especial em relação a compostos que reagem com água. O ensaio pode ser realizado de duas formas, por via seca e via úmida, em função do local de dispersão das partículas, se em um meio gasoso ou líquido. Para a via úmida, normalmente, são utilizados líquidos como a água, para materiais inertes; e o xilol, para ensaios



trabalhabilidade do UHPC é muito complexa e difere-se dos demais concretos e argamassas utilizados na construção civil. Por se tratar de um material composto por finos, baixa relação a/c e adições de fibras, o UHPC apresenta uma grande coesão e necessidade de fluidez. O empacotamento das partículas interfere diretamente na consistência do compósito. Uma mistura de UHPC com um empacotamento perfeito faz com que a trabalhabilidade da mistura seja maior.

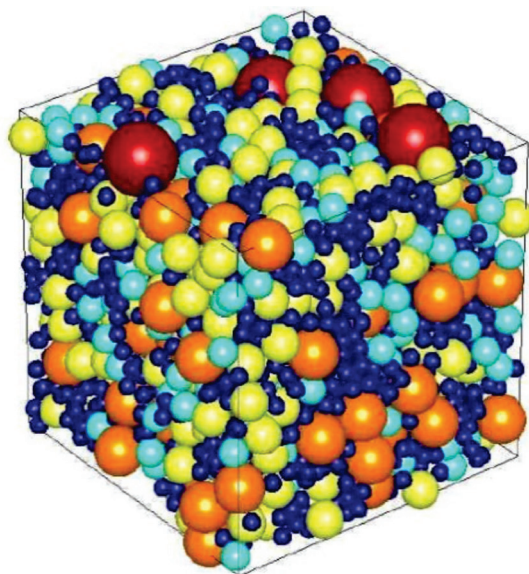
A viabilidade e o desempenho do material dependem da correta execução dos elementos e a trabalhabilidade interfere diretamente na qualidade da execução. Sendo assim, o UHPC deve apresentar uma elevada consistência para que a fôrma seja preenchida adequadamente sem que haja falhas na concretagem.

Neste capítulo, serão abordados os aspectos importantes que interferem nas propriedades reológicas do UHPC.

3.1 EMPACOTAMENTO DAS PARTÍCULAS

O empacotamento granular da mistura é o princípio para que se obtenha um concreto com elevado desempenho mecânico e elevada durabilidade, devido à diminuição de vazios. O empacotamento do UHPC pode ser alcançado usando teorias existentes, através da minimização de vazios, como se usa em concretos de alta resistência e concretos autoadensáveis, por exemplo. Ao dosar estes tipos de concreto, métodos práticos de empacotamento são utilizados, porém, para o UHPC, estes métodos não fornecem bons resultados, devido ao compósito ser constituído por materiais muito finos. A Figura 45 mostra como os agregados devem estar empacotados em um UHPC.

Figura 45 – Empacotamento com agregados com diferentes dimensões



Fonte: FIDJESTOL, THORSTEINSEN e SVENNEVIG
(FIDJESTOL; THORSTEINSEN; SVENNEVIG, 2012)

O empacotamento de partículas é utilizado em um amplo campo do conhecimento, como na indústria cerâmica,



UHPC é conhecido, principalmente, pela sua elevada resistência mecânica, sendo considerado, por muitos, como uma rocha artificial confeccionada pelo homem. Neste capítulo serão abordadas as características que influenciam as propriedades mecânicas do UHPC.

4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O UHPC apresenta resistência à compressão superior ao concreto de alta resistência. A resistência é tão elevada que pode ser considerado como uma rocha artificial, inclusive superando a resistência à compressão de pedras, como basalto e alguns granitos. Ainda pode ser moldado em elementos de diferentes formatos e com resistência à tração superior.

A elevada resistência à compressão do UHPC é devido à baixa relação água/aglomerante da matriz, pelo perfeito empacotamento granular dos constituintes da mistura, pela inexistência de zonas frágeis e devido à presença de materiais que reagem com os produtos de hidratação do cimento. A baixa demanda de água nas

misturas de UHPC só é possível devido à utilização de elevados teores de aditivos superplastificantes.

Ainda, é comum o uso de elevados teores de adições pozolânicas, que agirão como filler, preenchendo espaços vazios, e reagindo com o hidróxido de cálcio, formando C-S-H adicional. Devido a isso, não é comum utilizar a relação água/cimento como parâmetro, e sim a relação água/aglomerante, como já utilizado em concretos de alto desempenho. Muitos estudos desenvolvidos em diferentes países, como de Christ, Tutikian e Pacheco (CHRIST; TUTIKIAN; PACHECO, 2011) e Hüsken e Brouwers (CHRIST, 2011; HÜSKEN; BROUWERS, 2008), mostraram que é possível a execução do UHPC com baixo consumo de cimento, chegando a apenas 300 kg/m³, porém, o consumo de aglomerante, em muitos casos, é superior a 800 kg/m³. A relação água/aglomerante normalmente utilizada para a produção do UHPC varia de 0,19 a 0,25.

Ainda, a aplicação de cura térmica no UHPC, nas horas iniciais, faz com que a resistência à compressão seja potencializada, porém, alguns cuidados devem ser tomados, da mesma forma que em todos os concretos quando submetidos a um processo de cura térmica. A aplicação de vapor quente em concretos convencionais, em empresas de pré-fabricados, inicia-se após a pega do concreto, porém a temperatura de cura é controlada e não deve ultrapassar 65°C. O controle de temperatura é importante, pois, acima desta temperatura, o concreto pode apresentar a formação da etringita tardia, o que pode gerar, em presença de água, uma microfissuração interna e expansão, num fenômeno denominado DEF (formação de etringita tardia, ou *Delay Etringite Formation*, em inglês).

A cura térmica do UHPC, por sua vez, é realizada após um período de cura em temperatura ambiente, a, aproximadamente, 22°C. Após este período, a formação da etringita tardia não é extinta, mas uma eventual expansão deletéria pode ser combatida, em parte, pela resistência inicial que a matriz já possui, mesmo



lém do UHPC apresentar elevadas resistências mecânicas, a sua durabilidade, se comparada aos demais concretos, é muito superior. Cada vez mais se busca desenvolver estruturas com maior durabilidade e baixa manutenibilidade. Neste capítulo serão abordados aspectos importantes da aplicação do UHPC nos mais variados ambientes agressivos.

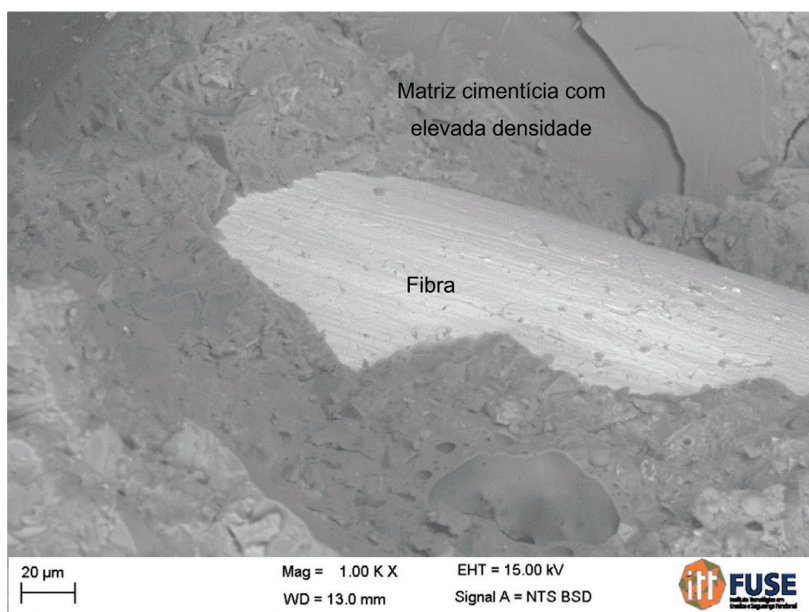
5.1 MICROESTRUTURA

As propriedades de um UHPC, assim como a de qualquer concreto, têm origem na microestrutura interna. E devido à alta complexidade e elevada heterogeneidade da microestrutura interna do UHPC, o estudo desta é de suma importância.

Agentes agressivos, para penetrarem na estrutura de concreto, precisam ter caminhos de acesso, que são a porosidade e permeabilidade existentes na matriz. Normas nacionais e internacionais de dimensionamento de estruturas de concreto especificam parâmetros relativos à durabilidade, como relações água/cimento máximas, resistências mínimas à compressão e cobrimentos.

A microestrutura do UHPC se difere dos demais concretos, devido à elevada densidade da matriz. Diferente até de concretos de alto desempenho, a visualização da microestrutura do UHPC em microscópio eletrônico de varredura (MEV) é prejudicada, visto que os compostos são criados entre os pequenos espaços existentes. A Figura 73 apresenta uma imagem de MEV de um UHPC com 205 MPa de resistência à compressão e relação água/aglomerante de 0,20, focando na interface com uma fibra de aço.

Figura 73 – Imagem de MEV da microestrutura do UHPC



Fonte: os autores

É possível visualizar que a microestrutura do UHPC é muito densa, por isso, não é possível observar a formação dos cristais de hidratação do cimento. E essa elevada densidade faz com que a mistura apresente uma baixa porosidade capilar, conferindo uma baixa permeabilidade.

A permeabilidade está ligada diretamente com a quantidade e o tamanho dos poros internos de uma matriz. Os compósitos



Um método de dosagem para concretos sempre busca determinar a melhor proporção dos constituintes, buscando maior desempenho ao menor custo. Para isso, testes devem ser realizados e ajustes são necessários, para que o objetivo seja alcançado.

A obtenção da mistura adequada para a produção de um UHPC não é simples de ser conseguida. Os materiais utilizados diferem em cada região do país, e um mesmo agregado pode apresentar divergências em termos de distribuição granulométrica ou em relação ao formato dos grãos, por exemplo. Ainda, a qualidade de cimentos e opções de aditivos podem ser distintos em diferentes regiões do país, e isso acaba gerando alterações nos traços.

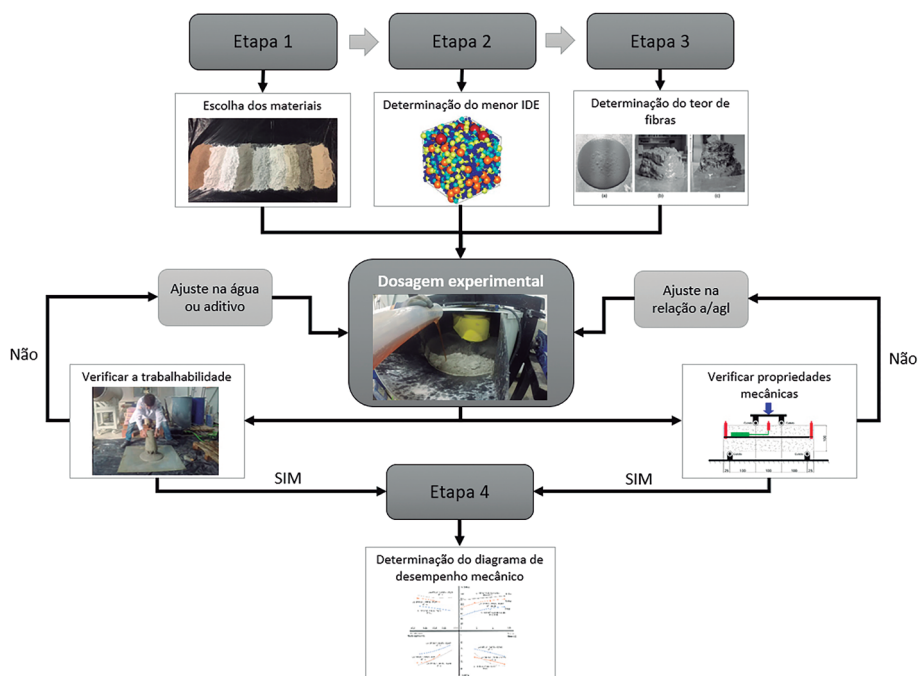
O método de dosagem deve fornecer a primeira proporção dos constituintes, ajustando o comportamento reológico e as propriedades mecânicas desejadas.

Neste capítulo será apresentado o método de dosagem que foi desenvolvido na Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, através de inúmeras pesquisas ao longo dos últimos 10 anos, envolvendo doutorados, mestrados,

trabalhos de conclusão de curso e aplicação do UHPC em empresas de pré-fabricados.

O método de dosagem UNISINOS é dividido em etapas sequenciais, como mostra a Figura 76. Em cada uma das etapas do método é determinado um ou mais parâmetros referentes à dosagem do UHPC.

Figura 76 – Etapas do método de dosagem UNISINOS para UHPC



Fonte: os autores

A primeira etapa é escolha dos materiais, que devem ser disponíveis comercialmente e serem os mais econômicos possível. A segunda etapa é a determinação do melhor índice de desvio do empacotamento (IDE), para se obter o melhor empacotamento possível. Na terceira etapa, é definido o teor de fibras a ser inserido, usando o valor ideal. Já na quarta e quinta etapa, se define a trabalhabilidade e as propriedades mecânicas, respectivamente. Caso não se obtenha as propriedades desejadas, se retorna para

as etapas 2 e 3. Por fim, se realizam as misturas finais, moldagem dos corpos de prova e determinação do diagrama de desempenho mecânico.

Nos subcapítulos a seguir, será detalhada cada uma das etapas do método proposto, evidenciando os processos para que se obtenha o melhor traço de UHPC.

6.1 ESCOLHA DOS MATERIAIS

O processo inicial de qualquer método de dosagem é a escolha dos constituintes, e este deve ser realizado buscando sempre utilizar materiais de fácil aquisição, com custo baixo e disponibilidade local. Os materiais comumente empregados em UHPC apresentam uma característica muito importante, que é a distribuição granulométrica contínua e diâmetros inferiores a 3 mm. Os principais materiais estão mostrados na Figura 77.

Figura 77 – Principais materiais utilizados nas misturas de UHPC



Fonte: os autores

A escolha dos materiais deve passar pela avaliação da distribuição granulométrica de cada constituinte, como já discutido no Capítulo 2. A Figura 78 apresenta diferentes materiais e sua distribuição granulométrica.



Este livro teve o propósito de apresentar de uma forma ampla e didática as principais características e definições do concreto de ultra alto desempenho, bem como apresentar um método de dosagem do UHPC desenvolvido pelos autores. Apresentou-se de forma clara e objetiva as diversas aplicações que o material possui, bem como seus benefícios para aplicações em pré-fabricados e em demais situações.

O uso do UHPC em obras de engenharia ainda tem um longo caminho a ser percorrido. A falta de conhecimento técnico sobre a tecnologia no Brasil, por muitos profissionais de engenharia, faz com que o material não seja amplamente aplicado nas obras. O desconhecimento sobre o UHPC faz com que projetistas não o especifiquem como elemento estrutural ou elementos de fachada e fechamentos em geral. Tentando sanar esta lacuna, este livro apresentou as principais propriedades e as características do compósito. Tudo isso com um propósito, o de difundir o conhecimento sobre o material ao maior número de profissionais do mercado.

Em países como Alemanha, França, Estados Unidos e outros o UHPC é largamente utilizado em obras de infraestrutura e obras públicas.

As informações trazidas neste livro são baseadas em pesquisas de mais de 15 anos, em laboratório, em empresas de pré-fabricados e diversos ensaios realizados em sistemas construtivos e elementos isolados.

O método de dosagem proposto pelos autores é um método simples, e apenas requer algumas informações específicas sobre os materiais, como a granulometria. Porém, a partir desta informação e utilizando equações matemáticas simples, pode-se obter uma proporção ideal para que a mistura tenha o mínimo de vazios possível, eliminando falhas que possam existir. Esta mínima quantidade de vazios proporciona ao material uma elevada densidade de empacotamento, o que confere elevada resistência mecânica e elevada durabilidade.

A utilização do método de dosagem para a realização de dosagens práticas do UHPC, com matérias-primas disponíveis na região de uso, é facilmente atendida. Em uma dosagem de concreto é preciso utilizar a ciência e a experiência do profissional. Por tudo isso, os autores do livro esperam que vocês leitores tenham absorvido algum conhecimento e possam aplicá-los com suas condições atuais.

Diversos estudos ainda estão sendo desenvolvidos sobre o UHPC. Os dados e informações apresentadas neste livro foram adquiridos por anos de pesquisa e desenvolvimento do UHPC na Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. Em algumas destas pesquisas tivemos o apoio de outras universidades e empresas, e a Tabela 18 apresenta os trabalhos realizados e alguns que ainda estão por serem finalizados.