

DOSAGEM DE UHPC (CONCRETO DE ULTRA ALTO DESEMPENHO) COM REJEITOS DE MARMORARIA

DOSAGE OF UHPC (ULTRA HIGH PERFORMANCE CONCRETE) WITH TAILINGS FROM MARBLE WORKING

SANTOS, Danilo Souza¹, SILVA, Guilherme Pinheiro Machado², BRAGA, Itallo Dos Reis³, BISPO, Wallesson Da Silva⁴, SILVA, Erlucivania Bueno⁵

RESUMO

Com o aumento da população mundial, a construção civil se tornou a maior consumidora de recursos, dentre eles, os rejeitos de marmoraria se tornaram um grande influenciador aos danos ambientais, especialmente no que se refere ao descarte em lixões ou enterrá-los. Este trabalho tem como objetivo alcançar um concreto de ultra alto desempenho (CUAD) reutilizando os rejeitos de marmoraria com dimensão máxima de 4,75 mm, de tal forma que alcance um (fck superior a 120 MPa). O programa experimental foi desenvolvido com três misturas compostas por cimento, sílica ativa, rejeitos de marmoraria, superplastificante e areia natural de rio. Para a primeira mistura foi desenvolvido um traço de referência não composta por rejeitos, na segunda mistura foi realizada a substituição de 50% do volume da areia de rio pelo agregado miúdo, na terceira mistura foi realizada a substituição de 100% da areia natural de rio por rejeitos de marmoraria. A produção do concreto de ultra alto desempenho foi realizado no laboratório de solos da FACUNICAMPS. Os materiais foram pesados e posteriormente misturados em uma argamassadeira sendo então moldados os corpos de prova. Após os períodos de cura com 2, 7, 14 e 28 dias de cura úmida, sendo rompido a compressão obtendo a sua resistência máxima. Os Traços II e III apresentaram boa trabalhabilidade em comparação ao traço de referência (Traço I), tendo destaque o traço com 50% (Traço II) que resulta em 89,13 MPa aos seus 28 dias. Já o traço com 100% (Traço III) teve sua fluidez um pouco afetada, atingindo 78,5 MPa com mesmo tempo de cura úmida. Conclui-se que a utilização dos resíduos de marmoraria como substituição parcial do agregado miúdo em concreto de alto desempenho não gerou qualquer prejuízo, podendo ser introduzido na composição do CUAD, dando assim uma destinação muito melhor ao material.

Palavra-chave: Dosagem. Rejeitos de Marmoraria. Concreto de Ultra Alto Desempenho. CUAD.

ABSTRACT

With the increase in the world's population, civil construction has become the largest consumer of resources, among the elements, marble waste has become a major influencer of environmental damage, where it is discarded in landfills or buried. This work aims to achieve an ultra self-performance concrete (UCAD) by reusing marble waste with a maximum dimension of 4.75 mm, in such a way that it reaches one (fck greater than 120 MPa). The experimental program was developed with three mixtures composed of cement, silica fume, marble waste, superplasticizer and natural river sand. For the first mixture, a reference mix not composed of tailings was developed, in the second mixture, 50% of the volume of river sand was replaced by fine aggregate, in the third mixture, 100% of the natural river sand was replaced by marble waste. The production of ultra high performance concrete was carried out in the FACUNICAMPS soil laboratory. The materials were weighed and later mixed in a mortar and then the specimens were molded. After the curing periods with 2, 7, 14 and 28 days of wet curing, the compression is broken, obtaining its maximum resistance.

¹Graduando concluinte do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil na Faculdade Unida de Campinas - Danilo Souza Santos. FacUnicamps. E-mail: daniloxbok@gmail.com

²Graduando concluinte do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil na Faculdade Unida de Campinas - Guilherme Pinheiro Machado Silva. FacUnicamps. E-mail: guilhermepinheiro.nfi@gmail.com

³Graduando concluinte do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil na Faculdade Unida de Campinas - Itallo dos reis Braga. FacUnicamps. E-mail: itallorbraga@gmail.com

⁴Graduando concluinte do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil na Faculdade Unida de Campinas - Wallesson da Silva Bispo. FacUnicamps. E-mail: eng.w.a.silva@gmail.com

⁵Professor(a) orientador(a) do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil da Faculdade Unida de Campinas – Me. Erlucivânia Bueno da Silva. FacUnicamps. E-mail: erlucivania.silva@facunicamps.edu.br

Keyword: Dosage. Marble waste. Ultra high performance concrete. CUAD.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das atividades que mais traz benefícios para o desenvolvimento no mundo, não apenas de caráter econômico, mas também de âmbito social. Em contrapartida, as atividades da construção civil é também, um dos seguimentos industriais que mais causam impactos ambientais, uma vez que é responsável por um alto consumo dos recursos naturais e geradora de grandes quantidades de resíduos. Segundo John (2003), avalia-se que o setor seja o maior consumidor individual de recursos naturais com cerca de 15% a 50% de todos os recursos naturais extraídos.

Nesse contexto, muitos estudiosos envolvidos no ramo da construção civil de forma direta ou indiretamente vem há muito tempo procurando por alternativas que contribuam na redução do consumo de matéria-prima natural, e na utilização de resíduos provenientes dos seguimentos industriais da construção civil, que muitas vezes são descartados de forma irregular.

Segundo Ferreira e Thomé (2011), métodos viáveis para a redução dos impactos ambientais causados pelo ramo da construção civil já estão sendo estudado e utilizado, exemplo disso é a utilização de agregados reciclados no lugar dos naturais e incorporação de resíduos de construção no concreto e argamassa.

Mothé filho (2005), diz que o setor de beneficiamento de rochas ornamentais é um dos que vem crescendo de forma mais sistemática nas últimas décadas no Brasil. Conforme a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais (Abirochas, 2018), as indústrias de rochas ornamentais nacionais exportaram em 2017, para 117 países, entre eles então China, Itália e EUA. Entretanto, o processo de beneficiamento de rochas gera altas quantidades de resíduos, por volta de 240.000 toneladas a cada ano, diz Moura (2002) e Kumayama (2014).

Os resíduos das rochas beneficiadas são localizados no grupo de resíduos de construção e demolição. Este por sua vez são destinados a aterros ou depositados em locais inadequados causando degradação ambiental e custos indesejáveis para as empresas e aos municípios. Dentro desse contexto, o concreto apresenta um grande potencial para receber elementos com

características parecidas aos seus componentes aglomerantes básicos, em especial o pó residual, proveniente do pó de marmoraria. Partindo desse pressuposto, nesse trabalho foi proposto empregar os resíduos de marmoraria em um concreto de ultra alta resistência.

O concreto de ultra alto desempenho surgiu pela necessidade de se ter um material capaz de suprir necessidades que os demais concretos existentes não atendiam. Trata-se de um concreto com elevada resistência e fluidez, um material que pode resistir a compressões superiores a 120MPa, superando o concreto CAD conforme Bóris Casanova Sokolovicz. O CUAD tem em sua composição apenas materiais com granulométrica fina sem a utilização de nenhum tipo de agregado graúdo, diferentemente dos concretos normais empregados no mercado da construção civil (SOLIMAN; TAGNIT-HAMOU, 2016).

O termo CUAD só foi definido em 2013, após a Associação Francesa de Engenharia Civil (AFGC) e o Instituto Americano do Concreto (ACI) entrarem em acordo sobre o que era e o que definia o CUAD. Por definição temos um concreto sem a utilização de agregado graúdo, baixa relação água/cimento, resistência a compressão maior que 150MPa e a tração acima de 8MPa (AFGC, 2013; CHRIST, 2019). De acordo com (HUNG, LEE e CHAN 2019), atualmente existem várias definições para o CUAD na literatura, mas é dito que se trata de uma mistura com relação a/c de aproximadamente 0,2 e resistência mínima à compressão aos 28 dias de 100MPa.

A inexistência do agregado graúdo na composição do CUAD permite um melhor arranjo nos compostos, fazendo com que os vazios deixados se tornem mínimo, proporcionando um melhor empacotamento das partículas. A não utilização de agregado graúdo diminui consideravelmente a porosidade da matriz e traz elevada consistência da mistura. O CUAD proporciona maior durabilidade, pois agentes nocivos ao concreto não conseguem adentrar com facilidade nos poros existentes da mistura (FEHLING 2004).

1.1 Justificativa

O mundo vem passando por grandes problemas nas últimas décadas em relação à destinação final de resíduos. Nesse contexto, a construção civil possui potenciais incríveis para absorção de novos materiais, neste caso, resíduos. Por ser uma área em constante desenvolvimento e com um leque gigantesco de atuação.

Nesse sentido, este estudo visou à incorporação do rejeito proveniente do beneficiamento de rochas, “pó residual de marmoraria”, na composição do CUAD, tendo em vista a elevada quantidade de material “pó de marmoraria” sem uma destinação apropriada. Isso implicará em vantagens no aspecto ambiental e também, econômico, considerando a relevância desse trabalho na contribuição para um maior desenvolvimento sustentável e maior aproveitamento de resíduos na construção civil.

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

O principal objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento à compressão de um concreto de ultra alto desempenho no qual foi incorporado em diferentes quantidades o pó proveniente do rejeito de marmoraria.

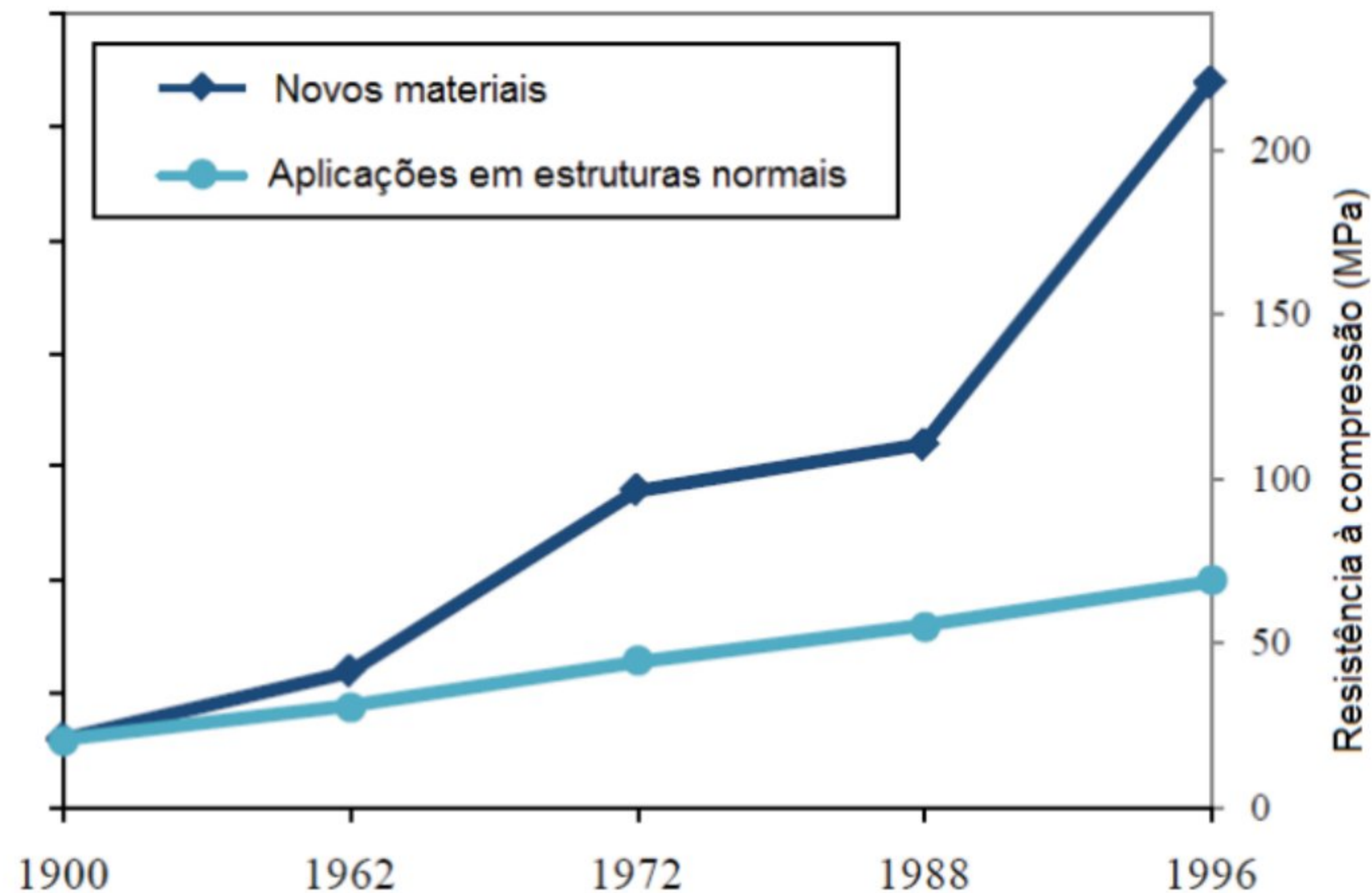
1.2.2. Objetivos específicos

- ✓ Investigar a influência na resistência à compressão axial do CUAD devido a substituição de 0%; 50% e 100% da areia natural de rio pelo rejeito de marmoraria com tamanho máximo inferior a 4,75 mm;
- ✓ Caracterizar o rejeito de marmoraria em seu estado fresco quanto a massa específica e espalhamento utilizando o tronco de cone de Hagermann;
- ✓ Moldar corpos de provas cilíndricas com dimensões de 10x5 cm e submetê-los a cura submersa até as idades de rupturas; 2, 7, 14 e 28 dias.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O avanço tecnológico do concreto fez com que o desenvolvimento dos compostos à base de cimento tivesse um significativo ganho de resistência à compressão ao longo do tempo. A Figura 1 apresenta uma comparação entre os valores de resistência à compressão dos concretos comumente utilizados nas obras e os valores de resistência compostos com alto desempenho desenvolvidos a partir de 1900 (SOLIMAN, 2016).

Figura 1 - Desenvolvimento da resistência máxima à compressão do concreto em 100 anos



Fonte: Soliman (2016, p. 14)

O concreto é constituído por aglomerante (cimento), agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita), água, podendo ser incorporado adições e aditivos para se obter misturas com melhor desempenho e durabilidade (LARRARD, 1999). Os concretos que apresentam resistência superior a 150 MPa são chamados de UHPC, porém, como em sua composição exige a adição de fibras, é comum chamar o composto de concreto de ultra alto desempenho reforçado com fibras (TORREGROSA, 2013).

O aparecimento do concreto conhecido como de alto desempenho ocorreu por volta do ano de 1990, sendo o concreto desenvolvido pelos pesquisadores Mehta e Aïtcin. Inicialmente, o UHPC era chamado de concreto de ultra alta resistência, porém o nome atual é mais aceito devido ao material não apresentar apenas elevada resistência mecânica, mas também outras propriedades que garantem maior desempenho (YAZICI, 2017).

Embora não exista definição precisa para o CAD e o CUAD, é reconhecido que esses materiais exigem combinação de atributos positivos, incluindo maior resistência, reduzida porosidade, alta fluidez e melhor resistência térmica (SOHAIL et al., 2017).

O aparecimento do concreto conhecido como de alto desempenho ocorreu por volta do ano de 1990, sendo o concreto desenvolvido pelos pesquisadores Mehta e Aïtcin. Este tipo de

concreto apresenta propriedades mecânicas e reológicas para uma demanda específica, como por exemplo, elevada resistência mecânica em uma determinada idade, controle de retração, controle do calor de hidratação, elevada durabilidade (CHRIST, 2014).

O tempo de mistura para o concreto de alta resistência é maior que para o traço convencional, sendo influenciado pelo seu caráter tixotrópico necessitando de maior tempo em mistura para alcançar a sua homogeneidade (AGUADO E OLIVEIRA apud LOPES, 1999).

O CUAD é descrito normalmente como um compósito de matriz cimentícia caracterizado por uma quantidade significativa de cimento (normalmente superior a 600 kg/m^3), agregados finos (inferior a 6 mm), aglutinantes (pozolana, cinza volante, sílica ativa, pó reativo) e baixa relação água/cimento ($a/c < 0,2$) (BUTTIGNOL; SOUSA; BITTENCOURT, 2017).

A não existência do agregado graúdo na mistura do UHPC proporciona uma maior compacidade, de maneira que os vazios deixados pelo arranjo granular formado por misturas com agregados de maior dimensão é diminuído. O arranjo granular de uma mistura depende das proporções de cada constituinte. Esta proporção, por sua vez, depende da granulometria de cada elemento e do empacotamento das partículas (LERCH et al., 2018)

A Associação Francesa de Engenharia Civil (AFGC) define o UHPC como uma matriz cimentícia reforçada com fibras de aço de alta resistência à compressão, superior a 150 MPa aos 28 dias, podendo chegar à resistência de 250 MPa, possuindo elevada resistência à tração, superior a 8 MPa, e excelentes propriedades reológicas no seu estado fresco (AFGC, 2013).

O superplastificante é o aditivo sem modificar a consistência do concreto no estado fresco, possibilita a diminuição da água do concreto, ou que, não alterando a água, eleva o abatimento e a fluidez do tal. O superplastificante pode apresentar diversas funções, sendo elas: aceleração de pega, retardo de pega ou não possuir nenhuma alteração (ABNT, 2011). Nessa pesquisa foi utilizado o superplastificante MC-PowerFlow 4001 da MC Bauchemie Brasil.

Segundo Aïtcin (2000), a sílica ativa (também conhecida como microsílica ou sílica fume conforme ABNT) é um subproduto da fabricação do silício metálico, proveniente das ligas de ferrosilício e dentre outras ligas compostas de silício. A sílica ativa é capaz de contribuir para a resistência de um determinado concreto mesmo no período inicial da hidratação (1 a 3 dias), sendo que a contribuição mais significativa ocorre até os 28 dias de idade (MEHTA, 1989). Nesse trabalho, foi utilizada a sílica Elkem Microsílica 920-D (densificada). De acordo

com o fabricante, a sílica ativa é do tipo densificada e atende aos requisitos da ANBNT NBR 13956/2012 (ABNT, 2012).

Apesar da retração autógena nos concretos de ultra alto desempenho ser potencialmente superior à retração autógena nos CC, a retração hidráulica total dos CAD é sempre, significativamente, menor que nos CC. Portanto o importante é curar, preferencialmente com água, tanto os CAD quanto os CC até que estes desenvolvam resistências suficientes para contrapor os esforços de retração sem fissurar (IBRACON 2011).

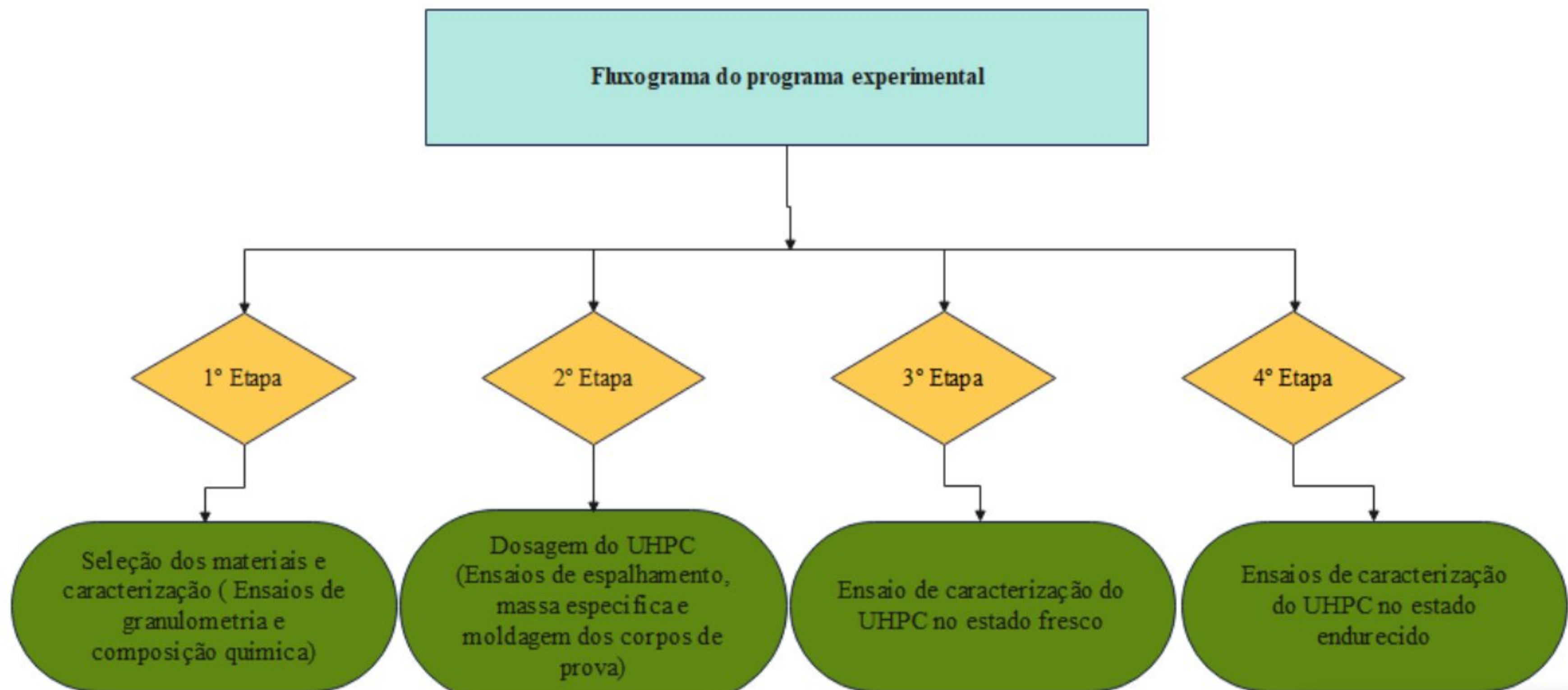
3. METODOLOGIA

O desenvolvimento desse trabalho foi realizado em duas fases: a primeira constitui-se em pesquisas em livros, artigos, trabalhos de conclusão de curso, teses e dissertações para compor o referencial teórico. Na segunda fase foi realizado a dosagem do concreto de ultra alto desempenho.

A pesquisa foi realizada no laboratório de solos, pertencente a unidade acadêmica de engenharia civil, localizada no campus III na Faculdade Unida de Campinas (FACUNICAMP), situada na cidade de Goiânia, Goiás, Brasil.

A primeira etapa da parte experimental dessa pesquisa foi a seleção e caracterização dos materiais. A segunda etapa constituiu-se na dosagem dos três traços do CUAD, e nas terceira e quarta etapas foram realizados os ensaios nos estados fresco e endurecidos do concreto, respectivamente. Na Figura 2 é apresentado um fluxograma das etapas da pesquisa.

Figura 2 - Fluxograma da Pesquisa



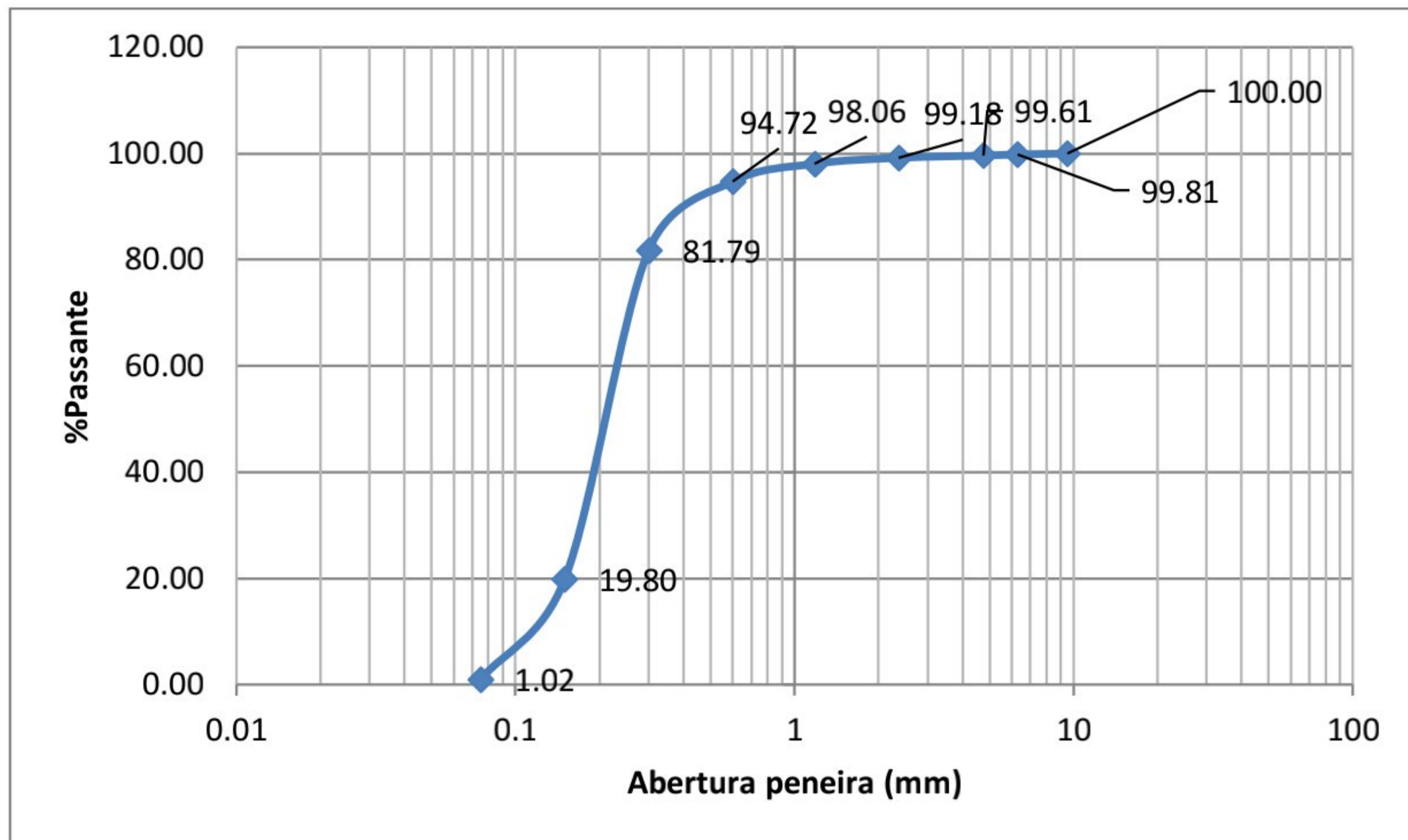
Fonte: (próprios autores, 2022)

3.1 Seleção e caracterização dos materiais

Os materiais utilizados nos traços foram: cimento- CP II -F-40, sílica - ELKEM 920-D, areia artificial, areia natural de rio e superplastificante- MC Powerflower 4001.

A areia natural de rio adotada nesse trabalho é proveniente do Município de Palestina – Goiás sendo devidamente regulamentadas junto ao IBAMA. O tamanho máximo dos agregados é 1,18 mm, sendo classificada como agregado miúdo de acordo com ABNT NBR 7211:2005 (2005). Na Figura 3 é apresentada a curva granulométrica da areia de rio.

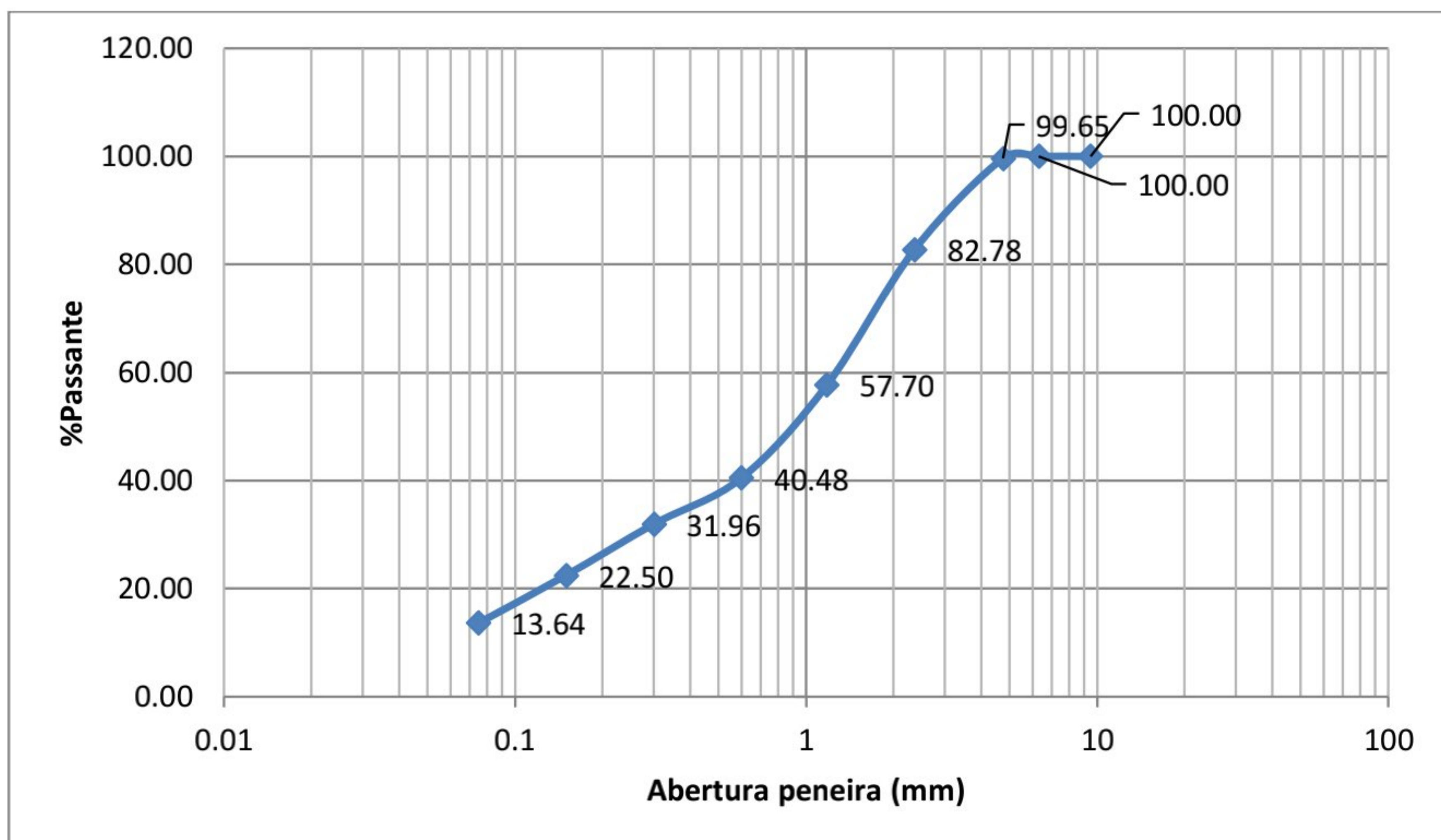
Figura 3 – Curva granulométrica da areia natural de rio.



Fonte: (próprios autores, 2022)

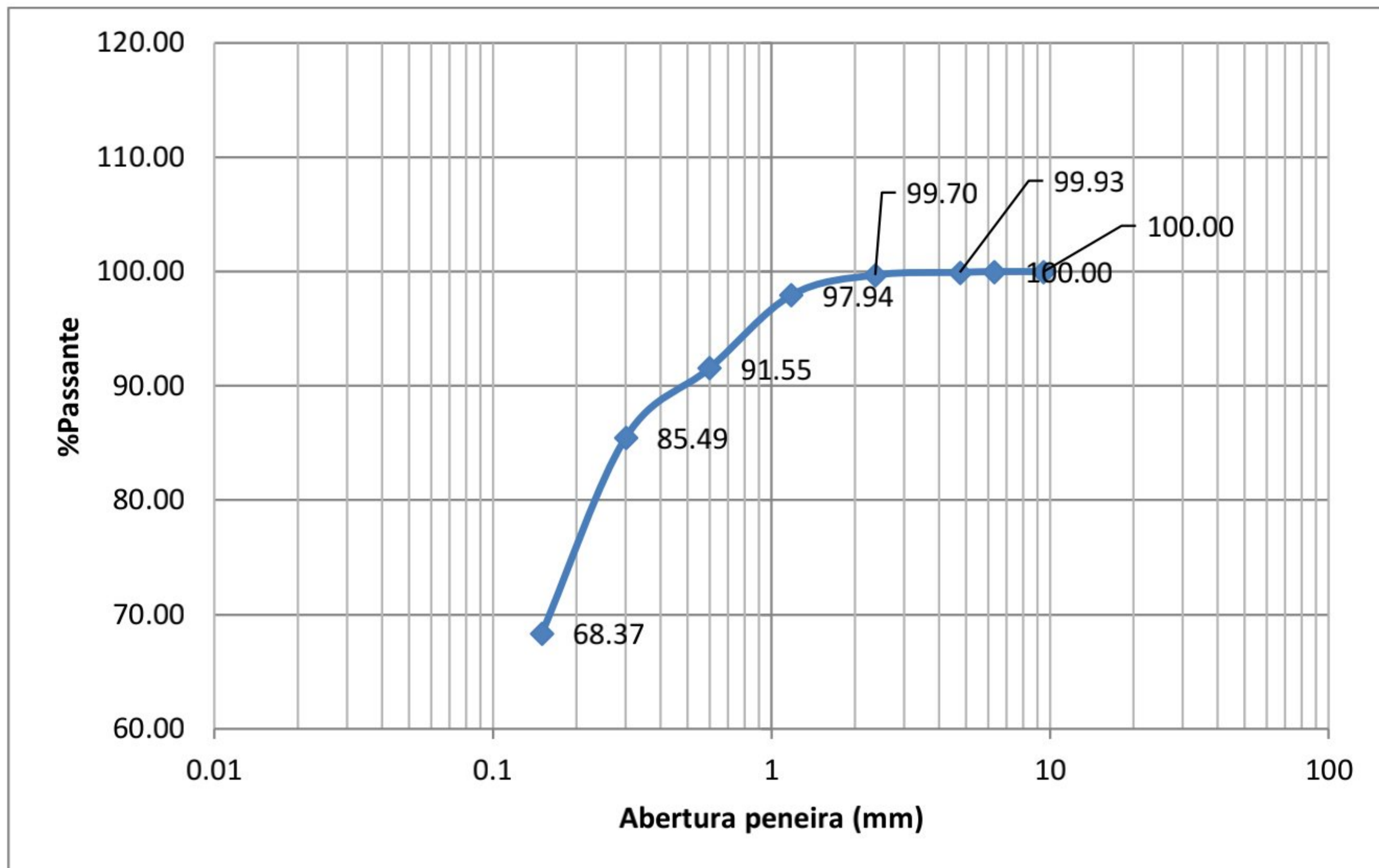
A areia artificial é proveniente de jazidas da região de Anápolis também devidamente regulamentadas junto ao IBAMA. O tamanho máximo dos agregados é 4,75 mm. Na Figura 4, é apresentada a curva granulométrica da areia artificial.

Figura 4 – Curva granulométrica da areia natural artificial.



Fonte: (próprios autores, 2022)

Figura 5- Curva granulométrica resíduo de marmoraria



Fonte: (próprios autores, 2022)

Para essa pesquisa é utilizado Cimento- CP II -F-40 devido ter menor teor de adição mineral e composto de 90% a 94% de clínquer e gesso, podendo ser minimizado o efeito da adição mineral na retração autógena (Bakker, 1988). Na figura 6, temos o laudo técnico do CP II - F-40.

Figura 6 - Laudo técnico cimento CP II - F-40

Parâmetros	CP II-F-32	CP IV-32 RS	CP V-ARI	CP II-F-40
Tempo de início de pega (minutos)	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60
MgO (%)	-	-	≤ 6,5*	-
Perda ao fogo (%)	≤ 12,5	≤ 6,5	≤ 6,5	≤ 12,5
Resíduo insolúvel (%)	≤ 7,5	-	≤ 3,5*	≤ 7,5
SO ₃ (%)	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5
Resistência à Compressão (MPa)				
1 dia	-	-	≥ 14,0	-
3 dias	≥ 10,0	≥ 10,0	≥ 24,0	≥ 15,0
7 dias	≥ 20,0	≥ 20,0	≥ 34,0	≥ 25,0
28 dias	≥ 32,0	≥ 32,0	-	≥ 40,0
Adições Permitidas (%)				
Escória	0	0	0	0
Fíler calcário	11 a 25	0 a 10	0 a 10	11 a 25
Material pozolânico	0	15 a 50	0	0

Fonte: (NBR 11578, 1991)

3.2 Composição dos Traços

A Tabela 1 mostra o consumo em kg/m³ de cada material para cada traço. O Traço I é o traço de referência com 0% de rejeito de marmoraria e nos Traços II e III a areia natural de rio foi substituída nas proporções de 50 % e 100 % por rejeito de marmoraria, respectivamente.

Tabela 1 – Traços do CUAD

Materiais	Consumo (kg/m ³)		
	Traço I	Traço II	Traço III
Cimento	700	600	715
Sílica ativa	90	90	172,5
Areia artificial	750	390	20,7
Areia natural de rio	715	390	-
Rejeito de marmoraria	-	715	715
Água	197,5	172,5	172,5
Superplastificante	27,65	20,7	20,7

Fonte: (Próprios autores, 2022)

Todos os três traços desenvolvidos tiveram a mesma sequência de mistura, tanto em relação ao tempo de mistura como também na velocidade de mistura e colocação dos materiais. O procedimento de mistura para as dosagens obedeceu a seguinte sequência:

- ✓ Misturou-se, primeiramente, todo o material seco até ocorrer a homogeneização (Figura 7-a);
- ✓ Verteu todo o material na argamassadeira e adicionou-85% da água misturando por 3 minutos (Figura 7-b);
- ✓ Desligou a argamassadeira e verificou-se que o material estava homogeneizado (Figura 7-c);

- ✓ Misturou-se a água e todo aditivo superplastificante MC-PowerFlow 4001 nos 15% água restante em uma única solução sendo adicionados a mistura (Figura 7-d);
- ✓ Misturou-se por mais 9 minutos.

Figura 7 – Etapas do processo de mistura dos matérias



c- Material homogeneizado



d- Adição do aditivo superplastificante



Fonte: (Próprios autores, 2022)

3.3 Ensaio no estado fresco

Para determinar o espalhamento do concreto foi utilizado o método de HAGERMANN (Figura 8) sem aplicação de golpes na mesa de consistência segundo a norma DIN 18555-2. O tronco de cone de aço inoxidável de 6 cm de altura, medindo 10 cm e 7 cm de raio inferior e superior respectivamente, sendo humedecido em etapa anterior ao ensaio. Seguindo os procedimentos da norma, foi realizado o arrasamento do topo do troco de cone com uma espátula inclinada de 45° com movimento cisalhante, exercendo pressão sobre a superfície do concreto, cobrindo duas terças partes dessa e arrastar, com movimentos de vai-e-vem com auxílio de uma espátula para dar acabamento na superfície originalmente coberta (ABNT 9833,2008).

Figura 8 - Determinação do espalhamento pelo tronco de cone

		
<p>(a) Concreto sendo vertido no cone de HAGERMANN</p>	<p>(b) Tronco de cone sendo realizado</p>	<p>(c) Medição do espalhamento do concreto</p>

Fonte: (Próprios autores, 2022)

3.4 Moldagem dos corpos de prova

Para a moldagem dos corpos de prova foram confeccionadas forma de cano PVC (Figura 9) cortados com dimensões de 10 cm de altura e diâmetro de 5 cm fechados com tampões.

Figura 9– Formas de cano PVC para moldagem dos corpos de prova



Fonte: (Próprios autores, 2022)

A ABNT NBR 5738:2015 (ABNT, 2015) regulamenta os procedimentos de moldagem e cura dos corpos de prova. Foram moldados no total 30 corpos de prova, 10 para cada traço, sendo 2 para cada data de rompimento. Os corpos de prova foram moldados e após 24 horas foram desmoldados e levados para uma empresa parceira da pesquisa para serem rompidos. Para o transporte, os corpos de prova foram empacotados com insulfilme plástico (Figura 10-a) para evitar a perda de água por evaporação. Na empresa, os corpos de prova foram submetidos a cura submersa (Figura 10-b) até a idade de rompimento.

Figura 10- Corpos de provas



Fonte: (Próprios autores, 2022)

3.5 Ensaio no estado endurecido

Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão axial nas idades de 2, 7, 14 e 28 dias conforme os procedimentos da ABNT NBR 5739: 2018 (ABNT, 2018). Antes de serem rompidos, os corpos de prova foram capeados com gesso (Figura 11-a), visando uniformizar as superfícies e garantir a distribuição da força. A Figura 11-b, mostra o CP na prensa para ser rompido e um CP rompido. A Figura 11-c, mostra o CP após ser rompido.

Figura 11 - Ensaio de compressão axial



(a) – Capeamento do CP com gesso



(b) CP na prensa



(c) Corpo de prova rompido

Fonte: (Próprios autores, 2022)

A resistência à compressão é obtida por meio das Equações 1 e 2.

$f, c_j = \frac{P}{A}$	Eq. 1
$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$	Eq. 2

Onde:

f, c_j : a resistência à compressão obtida na idade de ruptura;

A : a área do corpo de prova, expressa em mm²;

P : a força máxima obtida no ensaio de compressão axial em kN;

d : o diâmetro do corpo de prova em mm;

3.6 Massa específica

A massa específica do concreto foi obtida no estado endurecido. Após a desforma dos corpos de provas, foram medidas a massa, a altura e o diâmetro de cada um, sendo então determinado a massa específica conforme a Eq. 1.:

$\gamma = m/V$	Eq. 1
----------------	-------

Sendo:

γ : massa específica;

m: massa

V: volume

4. RESULTADOS

Nessa seção são apresentados os resultados de cada mistura utilizando o método proposto na pesquisa. Não foram utilizadas fibras no traço, uma vez que o intuito é avaliar as características e comportamento do CUAD em relação à adição de resíduos proveniente do beneficiamento de rochas quando submetido à compressão.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos do ensaio de espalhamento, massa específica para cada traço e resistência à compressão nas idades de ruptura. No traço I e II na idade de 2 dias tivemos um problema com o Cp's que estavam com defeito na forma, comprometendo os corpos de prova, assim não sendo considerados no trabalho, sendo apresentados na tabela com um asterisco.

Tabela 2 – Valores da massa específica e espalhamento para cada traço

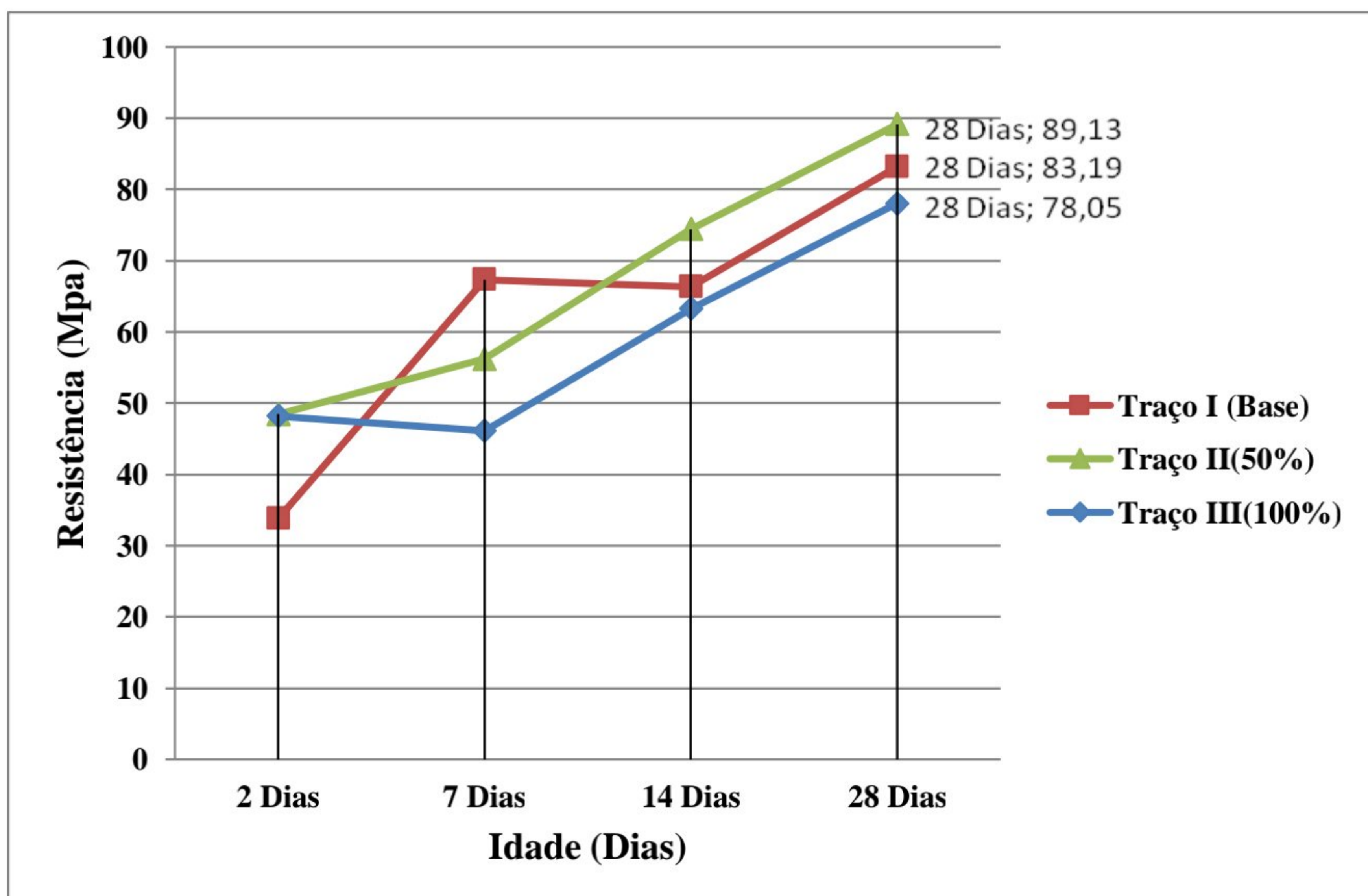
Traços	Massa específica (gr/cm ³)	Espalhamento (mm)	Resistência à compressão (fcj - MPa)							
			2 dias		7 dias		14 dias		28 dias	
			Ind.	Média	Ind.	Média	Ind.	Média	Ind.	Média
Traço I	2,38	385,5	33,77	33,77	64,93	67,33	60,95	66,35	78,26	83,19
			*		69,72		71,74		88,12	
Traço II	2,39	387	48,44		51,27		63,26		87,14	

			*	48,44	61,13	56,2	85,64	74,45	91,12	89,13
Traço	2,51	383	44,58		46,11		56,92		79,52	
III			51,79	48,19	45,85	46,11	69,55	63,24	76,58	78,05

Fonte: (Próprios Autores, 2022)

Tendo em vista os resultados da Tabela 2, nota-se que o valor de espalhamento entre os três traços não teve uma grande discrepância numérica. Entretanto, o traço com 100% de substituição mostrou uma redução no espalhamento em relação aos outros dois traços, sendo perceptível uma pequena perda de trabalhabilidade, que pode ser vista principalmente no momento de moldagem dos corpos de prova. Já o traço com 50% obteve um espalhamento médio melhor que o traço base, um melhor adensamento e trabalhabilidade na moldagem dos corpos de provas. Na mesma tabela informada anteriormente foi recolhido os valores do teste de resistência a compressão e feito a média. Por termos feito apenas dois corpos de prova para cada idade em cada traço consideramos este modelo a fim de encontrar quais seriam os resultados se houvesse mais ensaios de resistência. A Figura 12 mostra as curvas com o ganho de resistência até os 28 dias.

Figura 12–Resistências à compressão de cada traço em suas diferentes idades



Fonte: (Próprios Autores, 2022)

Avaliando separadamente a curva para cada traço, nota-se que o traço de referência obteve um ganho de 33,77 MPa, nos 2 primeiros dias de cura/úmida e dobrou aos 7 dias chegando a 67,33 MPa. Entretanto, observa-se que ocorreu um declínio na resistência média do corpo de prova com 14 dias, e de forma similar aconteceu no traço III com substituição de 100% da areia de rio por pó de resíduo. Ao romper com 2 dias, o mesmo alcançou uma resistência a compressão média de 48,19 MPa, já com idade de 7 dias seu resultado obteve um resultado de 46,11MPa. Ambos resultados de 14 dias do traço I e 7 dias traço III, obteve um resultado fora da curva esperada, tendo como referência que após tais resultados, ambas curvas tiveram seu crescimento normalizado.

Gostaríamos de salienta que, se usarmos como base para o nosso gráfico apresentado na figura 12 os valores mais altos obtidos em nossos ensaios, não teríamos uma queda de resistência no traço I mas no traço III, manteria uma queda da resistência no mesmo ponto.

A queda na resistência pode ter ocorrido devido a um erro na moldagem ou mesmo durante a execução do ensaio. Segundo Sokolovicz (2020), ao se trabalhar com o CUAD, os níveis de resistência são elevados, deficiências na face dos corpos de prova podem acumular tensões gerando uma ruptura que não representa a resistência real aguentada pelo corpo de prova. Por apresentar baixa porosidade, a ruptura é frágil e os cuidados para fazer a retificação dos corpos de provas são fundamentais. Na figura 13 pode ser visto dois corpos de prova sendo a figura 13 (a) do traço base e figura 13 (b) do traço III.

Figura 13 - Corpos de prova após teste de resistência na prensa



Fonte: (Próprios Autores, 2022)

É possível ainda perceber em relação à curva apresentada no gráfico da Figura 9 que, o segundo traço (50% de substituição), obteve o maior crescimento durante o estudo, alcançando com 2 dias uma resistência de 48,44MPa e chegando a 89,13MPa aos 28 dias.

Os resultados obtidos nesse trabalho não alcançaram os valores de resistência característicos do concreto CUAD aos 28 dias, no entanto, diversos pesquisadores como Richard e Cheyrezy (1995) e Heinz, Gerlicher e Urbonas (2012) ressaltam que quando se trabalha com concretos de pós-reativos, que é o caso do CUAD, é habitual empregar o uso da cura térmica que tem a função/objetivo de antecipar as reações de hidratação. É também utilizado em alguns laboratórios controlados à cura sobre pressão além da cura térmica. Para Yazici; Deniz e Baradan (2013), a cura térmica tem grande influência para maior resistência em um menor prazo, acelerando as reações de hidratação do cimento e reações pozolânicas, especialmente nos primeiros dias da cura.

Segundo Bóris Casanova Sokolovicz (2020), a cura térmica com/ou cura sobre pressão é adotada para acelerar as reações de hidratação e aumentar a resistência, principalmente no período dos 28 dias iniciais. É comum em concretos pós-reativos a utilização de tais métodos com o objetivo de apressar as reações de hidratação. A cura úmida tradicional foi adotada devido à facilidade de execução em obra tentando trazer o estudo mais próximo da realidade do nosso dia a dia, é usual também o uso de lona preta sendo similar a uma cura térmica, considerando regiões mais quentes.

No gráfico apresentado na figura 14, são apresentados os resultados dos ensaios de resistência à compressão obtidos por Christ (2019), em que se moldou quatro traços de CUAD (sem a utilização de fibras sendo os corpos de prova submetidos a cura úmida) e rompeu nas idades de 7, 14, 28, 56 e 91 dias.

Figura 14 – Resultado da resistência à compressão das misturas desenvolvidas

CPs	Traço	7 Dias			14 Dias			28 Dias			56 Dias			91 Dias		
		MPa			MPa			MPa			MPa			MPa		
		Individual	Potencial	Média	Individual	Potencial	Média	Individual	Potencial	Média	Individual	Potencial	Média	Individual	Potencial	Média
87	IDE	52			79,4			81			100,7			96,8		
		44,9	52	46,5	61,7	79,4	70,7	84,8	84,8	82,3	114,4	118,9	111,3	98	98	90,5
		42,5			70,9			81,1			118,9			76,7		
98	IDE	53,9			64,5			59,8			82,1			81,9		
		52,2	53,9	52,6	66,5	66,5	61,7	66	66	61,8	81,9	87,1	83,7	85,7	89	85,5
		51,7			54,1			59,6			87,1			89		
118	IDE	48,5			65,6			68,9			86,1			93,3		
		49,4	53	50,3	64,7	65,6	64,2	61	76,6	68,8	80,2	86,1	82,6	90,6	95,5	93,1
		53			62,2			76,6			81,6			95,5		
133	IDE	78,1			76,8			102,6			77,4			93,9		
		63,2	78,1	72,2	74,6	76,8	73,6	85,6	102,6	88,9	73,1	103,4	84,6	118,3	118,3	109,4
		75,4			69,5			78,5			103,4			116		
87	IDE	58,4			73,3			82,6			99,2			103,7		
		61,4	61,4	58,5	74,1	75,5	74,3	90,7	90,7	86,0	99,3	105,9	101,5	112,1	112,1	75,8
		55,7			75,5			84,7			105,9			11,7		
87	IDE	49			74			73,9			86,1			95,9		
		52	52,1	51,0	60,3	74	67,1	78,4	78,4	64,6	82,3	86,1	82,0	71,3	95,9	77,6
		52,1			67,1			41,6			77,5			65,5		
133	IDE	56,2			69,5			77			86,7			68,9		
		58,9	67,9	61,0	75,9	75,9	72,2	77	77	76,5	93,1	93,1	89,7	92,3	92,3	72,0
		67,9			71,1			75,6			89,3			54,8		

Fonte: (CHRIST, 2019).

Nota-se que aos 28 dias, os resultados são similares aos obtidos nesse trabalho, mostrando que os valores alcançados sem a utilização de cura térmica e da cura sobre pressão, estão dentro do esperado, e tende a superar os 100MPa a partir dos 56 dias.

O ensaio de compressão do concreto base com 28 dias resultou em 83,19 MPa, acima do obtido com a adição do resíduo no traço III (100%) de 78,05 MPa. Entretanto no traço II (50%), alcançamos uma resistência de 89,13 MPa.

Ao substituir a areia natural de rio por resíduo de marmoraria em 50% gerou um ganho de resistência a compressão de 7,14% aos 28 dias comparando ao traço base. Substituindo 100% da areia natural de rio por pó de marmoraria tivemos uma redução da resistência levando a uma perda de 6,18% da resistência a compressão em relação ao valor do traço base. Esses valores comparados ao de referência indica que a adição do pó de mármore deve ser criteriosa e indica a necessidade de estudos mais aprofundados em relação a dosagens.

Todavia, os resultados da adição do resíduo em pó de mármore surpreenderam de forma positiva, na resistência à compressão.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo teve como objetivo analisar a adição do resíduo do pó de mármore no concreto de ultra alto desempenho, afim de identificar benefícios oriundos da substituição do resíduo no lugar da areia natural de rio, nas seguintes porcentagens 50% e 100%.

Tendo como motivação para essa pesquisa a falta de um destino adequado para o resíduo (pó de mármore), sendo em sua grande maioria descartado de forma irregular, trazendo prejuízos ecológicos e financeiros.

Os Traços II e III apresentaram boa trabalhabilidade em comparação ao traço de referência (Traço I), dando ênfase ao traço com 50% (Traço III) de substituição que superou o traço referência. Já o traço com 100% (Traço II) teve sua fluidez um pouco afetada, podendo indicar ser necessário novos ensaios com diferentes quantitativos de adição de água ou aditivo gerando maior qualidade para a mistura.

Durante os ensaios de resistência à compressão os corpos de provas chegaram a uma resistência satisfatória para o período de 28 dias, tendo em consideração que após o desmolde dos corpos de prova os mesmos não ficaram nem um dia em cura térmica nem cura sobre pressão. O CUAD com 50% de resíduo de marmoraria apresentou resistência à compressão de 7,14% superior ao traço de referência. O CUAD com 100 % de resíduo de marmoraria apresentou resistência à compressão 6,18% inferior ao traço de referência.

Os resultados indicam que a utilização dos resíduos de marmorarias como substituição parcial do agregado miúdo em concreto de alto desempenho não gerou qualquer prejuízo podendo ser introduzido na composição do CUAD, dando assim, uma destinação muito melhor ao material.

Para os resultados obtidos na substituição total, os resultados indicaram a necessidade de maiores pesquisas com finalidade de demonstrar se a substituição total pode ser usada para a composição de um traço de concreto de ultra alto desempenho, mas os mesmos resultados demonstram que para os parâmetros de um concreto de alta resistência (CAR) a substituição de 100% mostrou bom resultado.

Como apreciação final, o objetivo da pesquisa foi obtido, corroborando que é possível desenvolver um concreto de ultra alto desempenho com adições de rejeitos provenientes do beneficiamento de rochas. Tratando de um tema com grande potencial para maiores pesquisas, em que bons resultados foram obtidos.

5.1 Sugestões para futuros trabalhos

Com a finalidade de acrescentar e aprofundar no assunto sobre concreto de ultra alto desempenho com adição de resíduos do pó de mármore. Sugerimos como futuras pesquisas e trabalhos:

- ✓ A adição do pó de mármore em outras variações de porcentagem em relação a areia natural;
- ✓ Metodologia para a incorporar o pó do resíduo de marmoraria no CUAD junto a fibras em diferentes quantidades;
- ✓ Estudos com adições minerais diferentes (outros tipos de rochas), proveniente do beneficiamento de rochas ornamentais no concreto de ultra alto desempenho;
- ✓ Estudo do CUAD em diferentes porcentagens incluindo as que foram usadas nesse trabalho, com outros tipos de cura com a cura térmica e sobre pressão.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: informação e documentação - **Concreto -Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**, Rio de Janeiro: ABNT, 2018. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/97693442/nbr-5739-2018-concreto-ensaio-de-compressao-de-corpos-de-prova-cilindricos/2>> Acesso em 28 de setembro de 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67:1998: informação e documentação - **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Disponível em: http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/15030/material/NBR%20NM%2067%20-%2098_aula.pdf Acesso em 05 de novembro de 2022.

Cone de HAGERMANN-2015 - Marta Liliana González Suarez - PUBLICAÇÃO: E.DM-012A/15 BRASÍLIA/DF: MAIO – 2015. Disponível em: file:///C:/Users/User/Downloads/5-Cone%20de%20HAGERMANN2015_MartaLilianaGonz%C3%A1lezSuarez.pdf Acesso em 03 de outubro de 2022.

Caracterização mecânica da rigidez e resistência do concreto de ultra alto desempenho reforçado por fibras (UHPFRC) - Douglas Dutra Rompa Gustavo de Miranda Saleme Gidrão

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ac/a/9zRp8MZVF9wzyQ75LvJmx8g/?lang=pt&format=pdf> Acesso em 08 de outubro de 2022.

Revista ALCONPAT - 01/05/2022: informação e documentação – **Resíduos de mármore em materiais de construção: uma revisão do uso do pó de mármore em argamassas, concreto e tijolos.** Disponível em: <file:///D:/TCC/tcc/tcc/522-Original%20Article%20Text-7593-2-10-20220524.pdf> Acesso em 23 de setembro de 2022.

REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil-2020: informação – **Fabricação de concreto auto adensável com utilização de resíduos de marmorarias com adição mineral.** Disponível em: file:///D:/TCC/rpareis,+REEC+43363+Lay-out+Vr01_.pdf Acesso em 29 de outubro de 2022.

TES_PPGEC_2020_SOKOLOVICZ_BORIS_CASANOVA: informação e documentação – **Avaliação das propriedades mecânicas e microestrutura de concreto de ultra alto desempenho com adições minerais e resíduos industriais.** Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/19866/TES_PPGEC_2020_SOKOLOVICZ%20BORIS_CASANOVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em 08 de outubro de 2022.

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS, TESE DE DOUTORADO - ROBERTO CHRIST, São Leopoldo 2019: informação e documentação – **Proposição de um método de dosagem para concretos de ultra alto desempenho (UHPC).** Disponível em: file:///D:/TCC/tcc/tcc/Roberto%20Christ_.pdf Acesso em 23 de setembro de 2022.

60º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2018: informação e documentação – **Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone do concreto.** Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/60CBC1244.pdf> Acesso em 03 de outubro de 2022.

III Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí - Abril de 2009: informação – **Resistência mecânica de concretos obtidos com incorporação do subproduto do corte e acabamento de mármore e granito**. Disponível em: file:///D:/TCC/RESIST%C3%80ANCIA-MEC%C3%82NICA-DE-CONCRETOS-UDESC.pdf Acesso em 16 de outubro de 2022.

ABNT, A. B. NBR 7211 - **Agregados para Concretos** - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT. 2009.

ABNT, A. B. NBR 9935 - **Agregados - Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT. 2011.

CUNHA, A. M., Lucio, C. S., Espartel, L., Stein, R. T., & Simionato, V. (2017). **Construção Civil**. Porto Alegre: Sagah.

LARRARD, François. **The rheology of fresh high-performance concrete**. *Cement and Concrete Research*, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 283–294, 1999.

GOTO, H., Ribeiro, J. P., & Centofante, R. **Materiais de Construção**. Porto Alegre: Sagah. 2020.

PINHEIRO, A. C., & Marcos Crivelaro. (2020). **Materiais de Construção**. São Paulo: Érica. 2020.

RESENDE, T. M. **Estudo do Reaproveitamento de Resíduos Gerados por Marmorarias**. Conselheiro Lafaiete. 2019.

SOLIMAN, Nancy Ahmed. **Development of ultra high performance concrete (UHPC) using waste glass materials – Towards innovative eco-friendly concrete**. 2016.



TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO

Eu Mallerman do Silveira Zimpe RA 31253

Declaro, com o aval de todos os componentes do grupo a:

AUTORIZAÇÃO

NÃO AUTORIZAÇÃO ()

Da submissão e eventual publicação na íntegra e/ou em partes no Repositório Institucional da Faculdade Unida de Campinas – FACUNICAMPS e da Revista Científica da FacUnicamps, do artigo intitulado: Donagem de conteúdo de ultra alto desempenho com resíduo de marmararis.

De autoria única e exclusivamente dos participantes do grupo constado em Ata com supervisão e orientação do (a) Prof. (a): Erleuivânia Bueno do Silveira

O presente artigo apresenta dados validos e exclui-se de plágio.

Curso: Engenharia Civil. Modalidade afim Artigo Científico

Mallerman do Silveira Zimpe
Assinatura do representante do grupo

Erleuivânia Bueno do Silveira
Assinatura do Orientador (a):

Obs: O aval do orientador poderá ser representado pelo envio desta declaração pelo email institucional do mesmo.

Goiânia, 11 de novembro de 2022