MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS GURUPI CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO SILVA JUVENCIO

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE FLOCOS DE GRAFENO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

GURUPI - TO
2021

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS GURUPI CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO SILVA JUVENCIO

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE FLOCOS DE GRAFENO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel do Curso Superior de Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins, *Campus Gurupi.*

Orientador: ME Clerson Dalvani Reis
Coorientador: Dr. Moacyr Salles Neto

GURUPI - TO
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

J97a Juvencio, Leonardo Silva
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE FLOCOS DE GRAFENO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO / Leonardo Silva Juvencio. – Gurupi, TO, 2021.
68 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Gurupi, Gurupi, TO, 2021.

Orientador: Me. Clerson Dalvani Reis
Coorientador: Dr. Moacyr Salles Neto

1. Resistência à compressão. 2. Flocos de grafeno. 3. Concreto. I. Reis, Clerson Dalvani. II. Neto, Moacyr Salles. III. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.
Elaborado pelo sistema de geração automatica de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

LEONARDO SILVA JUVENCIO

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE FLOCOS DE GRAFENO NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins – Campus Gurupi, como exigência à obtenção do grau.

Aprovado em: ____ / ____ / ____

BANCA AVALIADORA

_____

Orientador: Me. Clerson Dalvani Reis
IFTO - *Campus* Gurupi

_____

Coorientador: Dr. Moacyr Salles Neto
IFTO - *Campus* Palmas

_____

Prof. Me. Kárita Christina Soares Kanaiama Alves
IFTO - *Campus* Gurupi

_____

Prof. Me Paulo Roberto De Oliveira Junior
IFTO - *Campus* Gurupi

Documento assinado eletronicamente por **Clerson Dalvani Reis**, **Servidor**, em 08/12/2021, às 18:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Paulo Roberto de Oliveira Junior**, **Servidor**, em 08/12/2021, às 18:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Moacyr Salles Neto**, **Servidor**, em 10/12/2021, às 10:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

Documento assinado eletronicamente por **Karita Christina Soares Kanaiama Alves**, **Servidor**, em 10/12/2021, às 17:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ifto.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1469975** e o código CRC **1A999A3C**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Me. Clerson Dalvani Reis e ao meu coorientador Prof. Dr. Moacyr Salles Neto, pela oportunidade, ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional e apoio na realização deste trabalho.

A todos da empresa CONCRETINS, pelo fornecimento de dados, materiais, equipamentos e um grande apoio que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao meu grande amigo, Eng. Francyheberson Turíbio Ferreira, que sempre esteve disposto a ajudar-me no desenvolvimento deste trabalho e ao longo do curso.

Agradeço ao meu pai e à minha mãe por sempre estarem presentes e apoiarem-me neste longo caminho, estando sempre ao meu lado com amor e paciência, incentivando-me nos momentos difíceis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes do concreto---------- 12
Figura 2 - Curva de distribuição normal para definição de resistência do concreto-- 19
Figura 3 - Mecanismo do ensaio de ruptura de corpos de prova ---------- 21
Figura 4 - Relação fcj / fck---------- 22
Figura 5 - Relação do fck com o tipo de cura ---------- 23
Figura 6 - Dimensões padrão de tronco de cone e haste---------- 24
Figura 7 - Procedimento de realização do Slump Test. ---------- 24
Figura 8 - Estrutura do Grafeno---------- 26
Figura 9 - Carbeto de silício na etapa de sublimação---------- 30
Figura 10 - Níveis de correlação---------- 34
Figura 11 - Localização mineradora Amazonas Grafeno ---------- 36
Figura 12 - Realização de pesquisas em campo---------- 37
Figura 13 - Consistência do composto de grafeno---------- 37
Figura 14 – Imagens do composto de grafeno por MEV-EDS---------- 38
Figura 15 - Espectroscopia de dispersão de Raio-X (EDS) ---------- 39
Figura 16 - Betoneira 150L utilizada---------- 40
Figura 17 - Modelo Prensa Utilizada---------- 40
Figura 18 - Verificação do abatimento ---------- 41
Figura 19 - Verificação de umidade Areia e Pó de brita---------- 42
Figura 20 - Separação de materiais por massa---------- 42
Figura 21 - Identificação e pesagem de corpos de prova---------- 44
Figura 22 - Tanque para cura de corpos de prova---------- 44
Figura 23 - Exemplo de ruptura de corpo de prova---------- 45
Figura 24 - Gráfico comparação média de resistências. ---------- 46
Figura 25 - Matriz de coeficiente de correlação de Pearson ---------- 47
Figura 26 - Gráfico de dispersão Massa Deforma x Resistência ---------- 48
Figura 27 - Predição RLM x Resultados reais---------- 49
Figura 28 - Coeficiente de correlação para dados onde relação AC = 0,66 ---------- 50
Figura 29 - Coeficiente de correlação para dados onde relação AC = 0,84 ---------- 50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classes de resistência de concretos estruturais. 13
Quadro 2 - Tipos de cimento Portland.....14
Quadro 3 - Distribuição granulométrica para agregados miúdos. 15
Quadro 4 - Distribuição granulométrica para agregado graúdo. 15
Quadro 5 - Teor máximo de substâncias prejudiciais.....16
Quadro 6 - Aditivos e suas características 17
Quadro 7 - Coeficiente kn de acordo com números e ensaios.....19
Quadro 8 - Desvios padrões normatizados 20
Quadro 9 - Propriedades do grafeno.....27
Quadro 10 - Aplicações do grafeno.....28
Quadro 11 - Camadas de adensamento para corpos de prova.....32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Traço por parte de cimento 43
Tabela 2 - Média de resistência por traço/dia.....46

RESUMO

Esta pesquisa analisou a resistência de compressão do concreto com a adição de flocos de grafeno comparando os resultados com um concreto convencional. Para isso foi feita a adição do composto de grafeno no concreto com as proporções de 0,1%, 0,5%, 1% e 5% sobre a massa de cimento, foi utilizada também duas relações água/cimento, de 0,66 e 0,84. Dos resultados obtidos alcançou-se um aumento de resistência de 5 a 8 MPa de forma inversamente proporcional a quantidade de grafeno utilizada no traço de relação A/C maior, em contraste a esse resultado houve uma resposta mínima no concreto que utiliza uma menor quantidade de água sendo recomendado a realização de pesquisas quanto à dispersão do material. Outro fator observado foi a alteração da consistência da massa de concreto onde foram utilizados os flocos de grafeno, que tornou a mistura seca e áspera diminuindo o valor de abatimento e elevando o consumo de água.

PALAVRAS-CHAVE: Flocos de grafeno. Grafeno. Concreto. Resistência. Compressão.

ABSTRACT

This research analyzed the compressive strength of concrete with the addition of graphene flakes comparing the results with a conventional concrete. For this, the graphene compound was added to the concrete in the proportions of 0.1%, 0.5%, 1% and 5% on the mass of cement, and two water/cement ratios were also used, 0.66 and 0.84. From the results obtained, an increase in strength of 5 to 8 MPa was achieved, inversely proportional to the amount of graphene used in the mixture with the higher W/C ratio. In contrast to this result, there was a minimal response in the concrete that uses a smaller amount of water, and further research is recommended regarding the dispersion of the material. Another factor observed was the change in the consistency of the concrete mass where the graphene flakes were used, which made the mixture dry and rough, decreasing the slump value and increasing water consumption.

KEY WORDS: Graphene flakes. Graphene. Concrete. Resistance. Compression.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10

2 PROBLEMA DE PESQUISA 11

3 JUSTIFICATIVA 11

4 OBJETIVOS 11

4.1 Objetivo geral 11

4.2 Objetivos específicos 12

5 REVISÃO DE LITERATURA 12

5.1 Concreto 12

5.1.1 Conceitos gerais 12

5.1.2 Cimento 13

5.1.3 Agregados 14

5.1.4 Água 15

5.1.5 Aditivo 16

5.1.6 Dosagens 18

5.1.7 Resistências de dosagem 18

5.1.8 Resistência à compressão 20

5.1.9 Relação água cimento 21

5.1.10 Tempo de cura 21

5.1.11 Relevância da hidratação do concreto 22

5.1.12 Ensaio de abatimento do tronco cone. 23

5.1.13 Estados do concreto 25

5.2 Grafeno 26

5.2.1 Conceitos gerais 26

5.2.2 Uso e aplicações 28

5.2.3 Formas de obtenção do grafeno. 29

5.2.4 Influência do grafeno em propriedades cimentícias 30

5.3 Ensaio de compressão 31

5.3.1 Amostragem 31

5.3.2 Procedimento de moldagem de corpos de prova 31

5.3.3 Equipamento para exercer esforço de compressão. 32

5.3.4 Execução 33

5.3.5 Apresentação de resultados 33

5.4 Parâmetros para análises de dados 33

5.4.1 Coeficiente de correlação de Pearson 33
5.4.2 Regressão linear múltipla.....35
6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 35
6.1 Composto de grafeno a ser utilizado. 36
6.2 Materiais e equipamentos utilizados.....39
6.3 Parâmetros da pesquisa.....41
6.4 Confecção dos corpos de prova 42
6.5 Realização do ensaio de compressão.....43
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....45
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....51
9 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS 52
10 REFERÊNCIAS 53
11 APÊNDICES 60
11.1 Apêndice A – Tabela com dados dos ensaios de ruptura.....60
11.2 Apêndice B – Exemplar 0% de grafeno e relação A/C = 0,84. 62
11.3 Apêndice C – Exemplar 0,1% de grafeno e relação A/C = 0,84. 62
11.4 Apêndice D – Exemplar 0,5% de grafeno e relação A/C = 0,84. 62
11.5 Apêndice E – Exemplar 1% de grafeno e relação A/C = 0,84. 63
11.6 Apêndice F – Exemplar 0% de grafeno e relação A/C = 0,66. 63
11.7 Apêndice G – Exemplar 0,1% de grafeno e relação A/C = 0,66. 63
11.8 Apêndice H – Exemplar 0,5% de grafeno e relação A/C = 0,66. 64
11.9 Apêndice I – Exemplar 1% de grafeno e relação A/C = 0,66.....64
11.10 Apêndice J – Exemplar 5% de grafeno e relação A/C = 0,66. 64
12 ANEXOS.....65
12.1 Anexo A – Parecer Técnico CTNANO UFMG 65

1 INTRODUÇÃO

Desde a sua criação, o concreto tem sido estudado por meios científicos e até mesmo teórico e empíricos, a fim de adaptá-lo à construção civil, tradicionalmente composto por cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água. Muitos estudos buscam alcançar por meio da adição de outros componentes uma maior eficiência, seja por melhoramento de propriedades já existentes, ou acrescentando características que sejam benéficas para uma determinada situação.

O concreto estrutural pode ser designado como concreto simples quando não é utilizado armadura no seu interior. O concreto tendo uma boa resistência à compressão, quando posto em estruturas este fica submetido a outras categorias de esforços dessa forma são inseridas armaduras racionalmente de modo a suportar a essas solicitações, nesse caso dá se o nome de concreto armado. Já quando são introduzidas tensões de compressão na armadura com o intuito de limitar a fissuração ou deslocamento denomina-se concreto protendido (DURANTE, 2000).

A vantagens do concreto ocasionou sua elevada utilização, o que colocou no posto de segundo material mais utilizado pelo homem, perdendo apenas para a água, deixando assim implícito que a nação que estiver a frente em pesquisas e utilização deste material conseguiria obter uma eficiente saúde econômica e qualidade de vida para a sua população (HELENE & ANDRADE, 2007).

Como maneira de progressão de estudos científicos e usado adições em sua composição dentre muitos materiais podemos citar o grafeno que desde a separação do grafeno em 2004 houve um grande anseio devido às suas propriedades químicas, físicas, mecânicas e eletrônicas serem bastantes úteis a várias áreas da tecnologia, inclusive na construção civil, por ser um composto 200 vezes mais resistente mecanicamente que o aço. O uso do grafeno pode reduzir a demanda de material utilizado, sendo assim um potencial alternativa para economia, meio ambiente, e a arquitetura permitindo a construção de vãos maiores (DIMOV et al., 2008).

Diante disso essa pesquisa terá por finalidade apresentar a resistência de corpos de prova de concreto sob esforços axiais de compressão, executando de maneira científica a avaliação da contribuição do composto de grafeno na resistência à compressão simples do concreto.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

De acordo com JOHN (1998a), os resíduos gerados pela construção civil chegam a ser até duas vezes maiores que os lixos produzidos por comunidades urbanas causando um considerável impacto ambiental.

Visando construir de forma que diminua o impacto ao meio ambiente, considerando principalmente os aspectos econômicos a fim de desenvolver um modo de uso viável, esta pesquisa tem como objetivo obter parâmetros sobre como a adição de grafeno impacta à compressão axial do concreto buscando entender:

- Como o grafeno promove aumento na resistência à compressão do concreto, de modo que se possa reduzir o consumo de cimento ou do aço?
- Poderia o floco de grafeno conseguir reduzir o consumo global de concreto?

3 JUSTIFICATIVA

O concreto sendo o segundo material mais usado no mundo, a demanda anual é em média cerca de 1 tonelada por habitante, tendo o cimento como um dos processos com maior consumo de energia (GOLDSTEIN, 1995).

O grafeno é um material muito promissor, sua adição ao concreto pode levar a novas características incluindo a resistência à compressão onde a redução do volume de estruturas diminuiria seu peso próprio, aumentando eficiência das vigas e diminuiria a quantidade de resíduos sólidos gerados na construção.

A vista disso, devido a necessidade de reduzir os impactos causados pelo concreto e observando as propriedades do grafeno que resulta na redução dos resíduos sólidos, este trabalho tem por justificativa unir estes dois assuntos buscando uma solução para este contratempo que é a poluição.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é a realização de uma análise comparativa da resistência à compressão do concreto com adição de flocos de grafeno em relação ao concreto sem adição do composto.

4.2 Objetivos específicos

- Quantificar a relevância da introdução do grafeno no traço para o ganho de resistência à compressão;
- Verificar por meio dos ensaios de resistência qual seria o melhor traço, ou seja, aquele que apresente um maior aumento de resistência por quantidade de grafeno utilizado;

5 REVISÃO DE LITERATURA

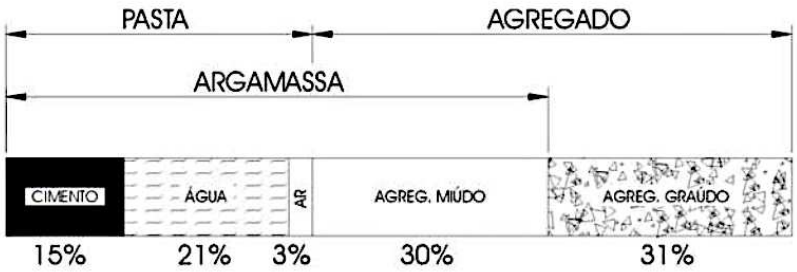
5.1 Concreto

5.1.1 Conceitos gerais

De uma forma comparativa podemos dizer que o concreto seria uma rocha artificial, onde no seu estado fresco possui uma característica plástica e quando rígido possui resistência como rochas, de acordo com a necessidade do projeto.

De acordo com Battagin (2009) o concreto é uma mistura de cimento, agregado miúdo, agregado graúdo e água, onde pode conter ou não aditivos de modo a desenvolver as suas propriedades. A Figura 1 mostra a porcentagem média correspondente dos componentes de um concreto usual.

Figura 1 - Componentes do concreto



Fonte: DURANTE, 2000

O concreto mesmo não possuindo as características do aço, como a resistência a esforços de tração, e mesmo não sendo tão resistente aos esforços de compressão, é amplamente usado devido a fatores como:

- A resistência a água, quando o cimento empregado é resistente a sulfatos;
- Plasticidade que no estado fresco pode moldar estruturas como pilares, vigas e lajes, podendo envolver armaduras e protegê-las caso possua a fluidez necessária;
- Seus materiais são de fácil obtenção facilitando o processo de fabricação e por consequência tendo um valor menor;

O concreto é classificado quanto a sua resistência à compressão a partir de ensaios utilizando corpos de prova seguindo os procedimentos da NBR 5738 (ABNT, 2015) para a moldagem e cura e a NBR 5739 (ABNT, 2007) para o ensaio de compressão, a sua classificação é dada conforme o Quadro 1 da NBR 8953 (ABNT, 2015).

Quadro 1 - Classes de resistência de concretos estruturais.

Classe de resistência Grupo I	Resistência característica à compressão Mpa	Classe de resistência Grupo II	Resistência característica à compressão Mpa
C20	20	C55	55
C25	25	C60	60
C30	30	C70	70
C35	35	C80	80
C40	40	C90	90
C45	45	C100	100
C50	50		

Fonte: NBR 8953 (ABNT, 2015)

Concretos com resistência abaixo de 20 MPa segundo a norma não são considerados concretos estruturais, logo não são representados no quadro.

5.1.2 Cimento

O cimento é usado para a produção de concreto destinado a estruturas devido ao seu comportamento de ligação de partículas, onde entra contato com a água formando uma pasta que se torna rígida, desenvolvendo resistência a esforços (CINCOTTO, 2011). Os cimentos são classificados em categorias conforme o conteúdo dos seus componentes. O Quadro 2 correlaciona o nome técnico dos cimentos comercializados no Brasil com a sua devida composição.

Quadro 2 - Tipos de cimento Portland.

Nome Técnico do Cimento Portland	Sigla	Classe	Clínquer + gesso (%)	Escória (%)	Pozolana (%)	Fíler calcário (%)
Comum	CPI	25,32,40	100	0	0	0
Comum com Adição	CPI-S	25,32,40	95-99	1-5	1-5	1-5
Composto com Escória	CPII-E	25,32,40	56-94	6-34	0	0-10
Composto com Pozolana	CPII-Z	25,32,40	76-94	0	6-14	0-10
Composto com Fíler	CPII-F	25,32,40	90-94	0	0	6-10
Alto-Forno	CPIII	25,32,40	25-65	35-70	0	0-5
Pazolânico	CPIV	25,32	45-85	0	15-50	0-5
Alta Resistência Inicial	CPV-ARI	-	95-100	0	0	0-5
Resistente a sulfatos	RS	25,32,40	*			
Baixo Calor de Hidratação	BC	25,32,40				
Branco Estrutural	CPB	25,32,40	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de BATTAGIN, 2011.

Os cimentos Portland hidráulicos são produzidos a partir da pulverização do clínquer fabricado nas etapas: mistura e moagem de materiais calcários e argilosos, o tratamento térmico em fornos rotativos até que seja formado o clínquer, e a sua moagem com gesso. Os cimentos são moídos até atingir uma finura onde não é possível determinar a sua composição granulométrica através de peneiras. Logo, o grau de finura é medido de acordo com o “Blaine”. Quanto maior a finura maior velocidade em que ocorre a hidratação, o que implica também na resistência inicial da pasta (ANDOLFATO, 2002).

5.1.3 Agregados

O agregado miúdo usualmente utilizado no concreto, é a areia, sendo ela natural ou artificial, estando livre de impurezas que possam eventualmente prejudicar o sistema estrutural. Outro fator que deve ser enaltecido é a sua umidade, de forma que a água presente seja considerada no controle tecnológico do traço.

Segundo Helene e Terzian (1995), os aspectos mais importantes a se considerar dos agregados miúdos são: a sua granulometria que atua na resistência global do concreto o que é regulamentado pela NBR 7211(ABNT, 2009), o seu módulo de finura que modifica como a hidratação ocorre, a sua massa unitária e a sua massa específica. Conforme a mesma norma citada, para ser classificado como agregado miúdo deve ficar entre a peneira de 4,75 mm e 0,075 mm, assim como mostra o Quadro 3 sobre os limites superiores e inferiores de massa retida em peneira.

Quadro 3 - Distribuição granulométrica para agregados miúdos.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada			
	Limites Inferiores		Limites Superiores	
	Zona utilizável	Zona ótima	Zona utilizável	Zona ótima
9,5 mm	0	0	0	0
6,3 mm	0	0	0	7
4,75 mm	0	0	5	10
2,36 mm	0	10	20	25
1,18 mm	5	20	30	50
600 µm	15	35	55	70
300 µm	50	65	85	95
150 µm	85	90	95	100

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7211, 2009

O agregado graúdo são fragmentos de rochas obtidos a partir de meios naturais ou mecânicos, a sua quantidade usada no concreto interfere diretamente na quantidade de areia e cimento usado no traço. Estando entre a peneira de 75 mm e 4,75 mm o agregado graúdo também deve seguir a distribuição granulométrica indicada pela NBR 7211(ABNT, 2009) mostrada logo abaixo no Quadro 4.

Quadro 4 - Distribuição granulométrica para agregado graúdo.

Peneira com abertura de malha (ABNT NBR ISSO 331-1)	Porcentagem, em massa, retida acumulada				
	Zona granulométrica				
	4,75/12,5	9,5/25	19/31,5	25/50	37,5/75
75 mm	-	-	-	-	0 - 5
63 mm	-	-	-	-	5 - 30
50 mm	-	-	-	0 - 5	75 - 100
37,5 mm	-	-	-	5 - 30	90 - 100
31,5 mm	-	-	0 - 5	75 - 100	95 - 100
25 mm	-	0 - 5	5 - 25	87 - 100	-
19 mm	-	2 - 15	65 - 95	95 - 100	-
12,5 mm	0 - 5	40 - 65	92 - 100	-	-

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 7211, 2009

5.1.4 Água

A água quando entra em contato com o cimento provoca uma reação de endurecimento a partir da hidratação. Ela pode ser introduzida ao concreto de várias formas, seja na forma líquida, na forma de gelo triturado ou escamado, até mesmo de maneira indireta como nos aditivos ou pela umidade presente em agregados. Dessa forma, a água é essencial para o concreto fresco no seu processo de hidratação visto que sem ela não ocorreria o processo de aglutinação de agregados (ISAIA, 2011).

A NBR 15900 (ABNT, 2009) é a normativa sobre o teor máximo de substâncias que podem estar presentes na água, de forma que não haja uma contaminação que possa prejudicar a estrutura de concreto. De acordo com o Quadro 5 temos os teores máximos permitidos de alguns elementos que em excesso que podem prejudicar o correto funcionamento de uma estrutura de concreto.

Quadro 5 - Teor máximo de substâncias prejudiciais.

Substância	Teor máximo mg/l
Açúcares	100
Fosfatos	100
Nitratos	500
Chumbo	100
Zinco	100

Fonte: ABNT NBR 15900, 2009

5.1.5 Aditivo

Aditivo tem por objetivo adicionar ou modificar características do concreto, como a sua consistência e trabalhabilidade, são introduzidos de forma sistemática considerando o tipo de situação problema que a obra irá requerer.

Os aditivos deverão estar sempre na sua embalagem ou outras que atendam às suas necessidades de fabricação, aditivos líquidos ao serem utilizados devem ser homogeneizados a garantir que se obtenha uma mistura uniforme dos seus componentes (NBR 12655, 2015). Eles se subdividem em:

Quadro 6 - Aditivos e suas características

Categoria	Características
Plastificantes	Aumenta o índice de consistência, trazendo maior trabalhabilidade e resistência. Retarda o início de pega, pode aumentar o risco de ocorrer segregação e pode provocar o endurecimento prematuro.
Retardadores	Aumenta o tempo de início de pega, mantém a trabalhabilidade do concreto em temperaturas elevadas, retarda o aumento do calor de hidratação. Pode causar exsudação e retração plástica do concreto.
Aceleradores	Início de pega mais rápido e resistência inicial elevada, muito utilizado em concretos projetados, possui um ganho de resistência em baixas temperaturas e possibilita uma redução do tempo de desforma. Pode ocorrer uma possível fissuração devido ao calor de hidratação, e corrosão de armaduras por conta de cloretos.
Plastificantes e Retardadores	Possui o efeito combinado das características de ambos aditivos, possibilitando a diminuição da perda de consistência em climas quentes.
Plastificante e aceleradores	Como já diz o seu nome possui o efeito de um aditivo plastificante e acelerador combinados, permite um ganho mais rápido de resistência, porém possui a desvantagem de um acelerador: o risco de corrosão da armadura.
Incorporadores de ar	Esse aditivo incorpora no concreto pequenas bolhas de ar, reduzindo o teor de água e a permeabilidade do concreto, possuindo um bom desempenho em concretos de baixo consumo de cimento.
Superplastificante	Provoca um aumento do índice de consistência, é um eficiente redutor de água, portanto é muito utilizado em concretos autoadensáveis. A sua desvantagem seria o risco de segregação, uma duração prolongada o efeito fluido do concreto, e uma eventual perda de consistência.

Fonte: Adaptado de DURANTE, 2000.

5.1.6 Dosagens

É preciso fazer um estudo para se obter uma dosagem eficiente do concreto, entender as propriedades dos materiais que o compõe, fatores que pode alterar tais propriedades e porventura possa prejudicar a estrutura, a proporção em que esses materiais devem ser colocados, a forma que ele será concretado seja no método tradicional ou projetado, sobre como ocorrerá o processo de adensamento, como acontecerá a cura do concreto considerando fatores ambientais. Com isso em mente poderá pensar em traços que possam atender a demanda da situação entregando um concreto resistente, durável, econômico e funcional (ALMEIDA, 2002).

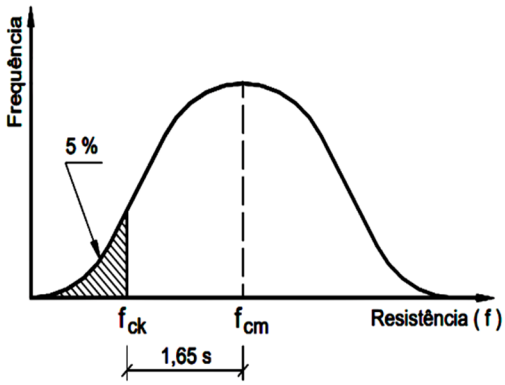
Segundo Tutikian, Helene (2011) entende-se para princípios da dosagem de concreto que:

- 95% da resistência à compressão de um concreto se deve unicamente pela sua pasta, onde essa mesma seria a resistência teórica máxima.
- Para cada dimensão máxima do agregado graúdo há um ponto ótimo de resistência que aumenta com a redução dessa dimensão.
- A relação água cimento é essencial para a estratégia de dosagem do concreto.
- A consistência de um concreto fresco está diretamente ligada com a quantidade de água utilizada no traço.
- Quanto maior for a dimensão do agregado e menor for seu abatimento mais econômico será o concreto, visto que concretos que possuem uma maior fluidez intuitivamente utilizam mais água, o que afeta a relação de água/cimento onde para se obter maiores resistências implica num consumo de cimento considerável.

5.1.7 Resistências de dosagem

Para a determinação da resistência de um traço de concreto não seria adequado recorrer apenas a um ensaio, com isso realizam-se vários ensaios de modo a encontrar um valor confiável. O Fck se trata especificamente desse valor que conforme a Figura 2 entende-se que o valor característico de um traço é aquele onde 95% das amostras de uma dosagem seja superior.

Figura 2 - Curva de distribuição normal para definição de resistência do concreto



Fonte: Bastos, 2006.

A resistência média de dosagem está intimamente ligada ao valor do fck e tem a sua determinação segundo a NBR 12655 (ABNT,2006) pela equação (1) que relaciona o fck com o desvio padrão das amostras.

$$Fcmj = Fck + 1{,}65 * Sd \quad \textbf{(1)}$$

- Fcmj = resistência media a compressão em MPa;
- Fck = resistência característica do concreto à compressão em MPa;
- Sd = desvio padrão médio da dosagem em MPa;

$$Sd = Kn * Sn \quad \textbf{(2)}$$

- Kn = coeficiente dependente do número de ensaios realizados;
- Sn = Desvio padrão obtido de n resultados obtidos;
- N = número de ensaios realizados;

Quadro 7 - Coeficiente kn de acordo com números e ensaios.

n	20	25	30	50	200
kn	1,35	1,3	1,25	1,2	1,1

Fonte: ABNT NBR 12655, 2006.

No cálculo de resistência média de dosagem a idade de projeto é uma variável definida de acordo com o tecnólogo de concreto. Essa idade corresponde com a necessidade de cada projeto, sendo o mais usual descobrir o período ideal de desforma, de modo a aplicar um carregamento nas estruturas.

Caso o desvio padrão de resistência à compressão não seja conseguido, e estabelecido valores de acordo com o controle tecnológico do qual ele é produzido:

Quadro 8 - Desvios padrões normatizados

4,0 MPa	Concretos de classe C10 a C80 onde o cimento e agregados são medidos em massa sendo considerado o teor de umidade presente dos agregados.
5,5 MPa	Concretos de classe C10 a C25 onde o cimento é medido em massa, agregados em volume, atentando-se a umidade de agregados miúdos.
7,0 MPa	Concretos de classe C10 a C15 onde o cimento é medido em massa, agregados em volume, corrigindo o total de água em estimativa de umidade presente em agregados.

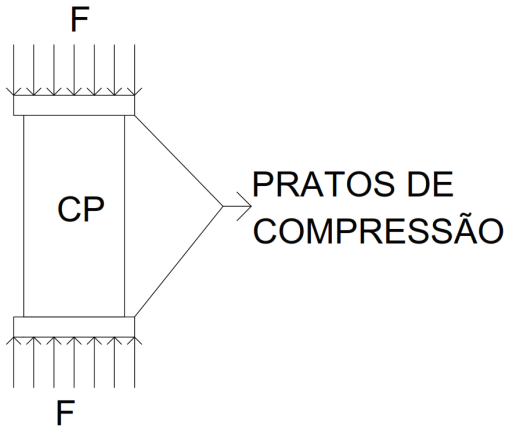
Fonte: Adaptado de DURANTE, 2000.

5.1.8 Resistência à compressão

A resistência à compressão é característica do concreto usada em projetos e, segundo a NBR 12655 (ABNT, 2015), é encontrada a partir de quando pelo menos 95% dos ensaios feitos atingem uma determinada quantia em megapascal (MPa) no período de 28 dias.

No Brasil é usualmente utilizado blocos cilíndricos com tamanhos variados obedecendo à norma de moldagem de corpos de prova (NBR 5738), países europeus costumam utilizar corpos de provas prismáticos com dimensões das arestas de 15 ou 20 cm. O ensaio para definição da resistência característica à compressão é realizado numa prensa hidráulica aos 28 dias segundo as diretrizes da NBR 5739 (BASTOS, 2006).

Figura 3 - Mecanismo do ensaio de ruptura de corpos de prova



Fonte: Autor, 2021

Essa variação de resistência que se obtém ao romper corpos de provas está relacionada a vários fatores, dentre eles podemos destacar a composição do traço, tendo como principal variante a relação água/cimento. O tempo de cura que os corpos de prova são submetidos, tempo de hidratação e como ela ocorre, a execução da moldagem dos corpos de prova, a falta de adensamento, até mesmo o formato do prisma também pode interferir no valor obtido no teste (BORGES, 2017).

5.1.9 Relação água cimento

Entende-se por relação água cimento o quociente entre quantidade de água sobre e a quantidade de cimento, sendo essa característica o parâmetro mais importante a ser considerado na dosagem do traço, pois além de estar diretamente relacionada a resistência do concreto, visto que uma relação menor implica numa resistência maior, também estar ligado ao gasto econômico, pois um concreto mais fluido com uma resistência maior, irá gastar mais cimento implicando no custo total do concreto (BORGES, 2017).

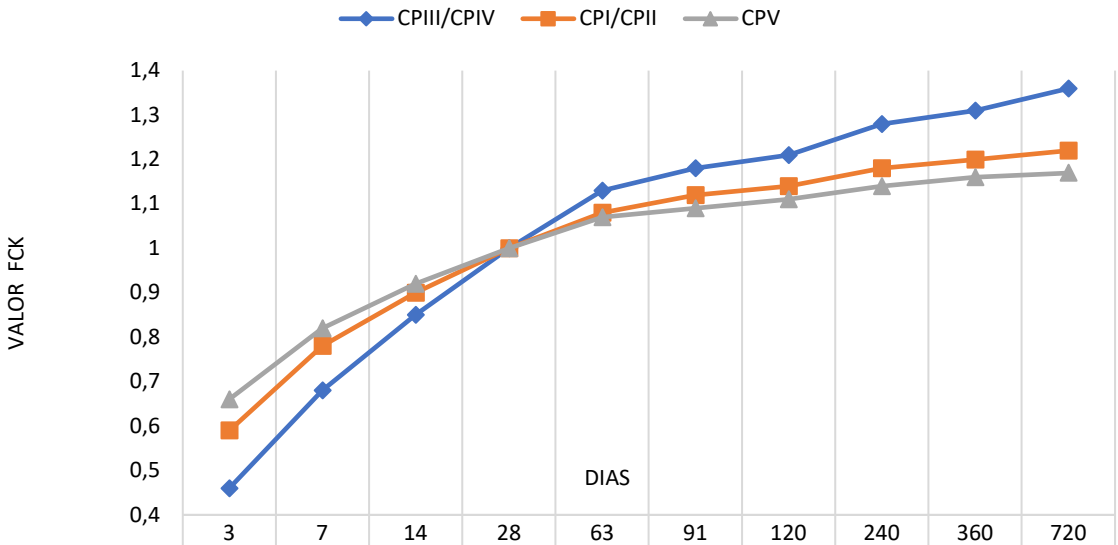
5.1.10 Tempo de cura

O tempo de cura em que uma peça de concreto está submetida é um parâmetro fundamental para observar que maneira a hidratação acontece, quando este processo acontece idealmente, aos 7 dias o concreto atinge por volta de 70% do valor previsto,

isso se deve a uma sequência de reações químicas que acontecem levando ao endurecimento do concreto (DURANTE, 2000).

A Figura 4 mostra a relação do valor do Fcj sobre o valor do Fck, relacionando ainda com o tipo de cimento e a quantidade de dias. Nela percebemos que embora após o período de 720 dias o cimento CPIII e CPIV alcance maiores valores de resistência o cimento CPV consegue uma maior resistência aos 7 dias comparados aos outros tipos de cimento.

Figura 4 - Relação fcj / fck



	3	7	14	28	63	91	120	240	360	720
CPIII/CPIV	0,46	0,68	0,85	1	1,13	1,18	1,21	1,28	1,31	1,36
CPI/CPII	0,59	0,78	0,9	1	1,08	1,12	1,14	1,18	1,2	1,22
CPV	0,66	0,82	0,92	1	1,07	1,09	1,11	1,14	1,16	1,17

Fonte: Adaptado de DURANTE, 2000

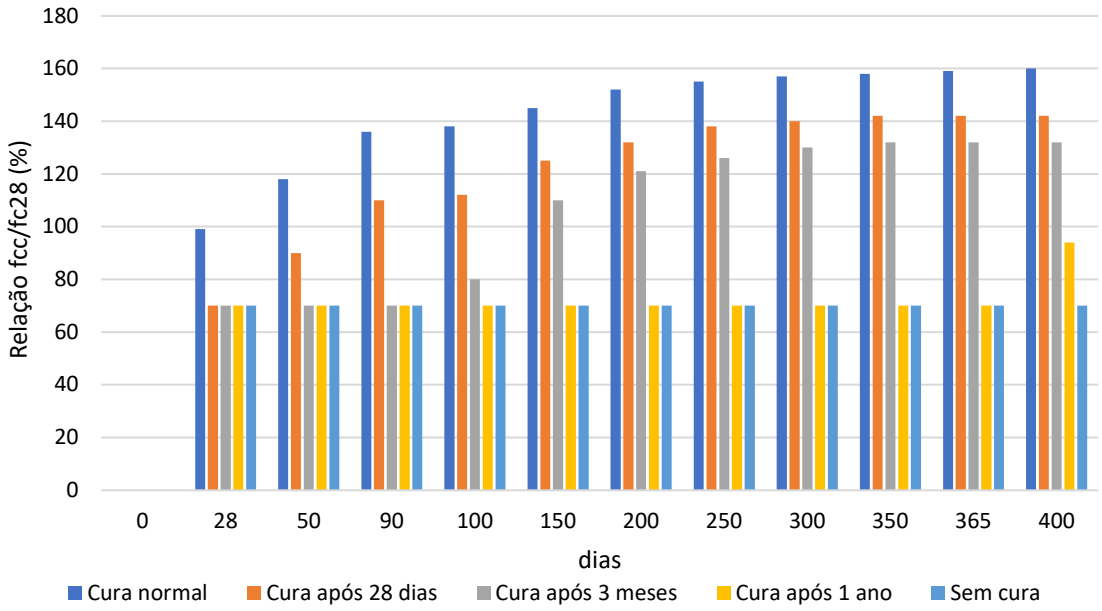
A norma recomenda que a cura dos corpos de provas destinados para ensaio de compressão deve acontecer em câmara úmida, ou em tanque de água saturada por hidróxido de cálcio.

5.1.11 Relevância da hidratação do concreto

A importância da cura do concreto se deve pelo ganho de resistência ao decorrer dos dias onde seu objetivo é, por meio da saturação, o volume de água da pasta do cimento seja preenchido. Desde que não fique ressecado a hidratação

ocorrerá ininterruptamente, ganhando resistência ao decorrer deste tempo, observando que não somente o tempo em dia interfere, mas também a temperatura onde o concreto é submetido nesse tempo de cura (DURANTE, 2000).

Figura 5 - Relação do fck com o tipo de cura



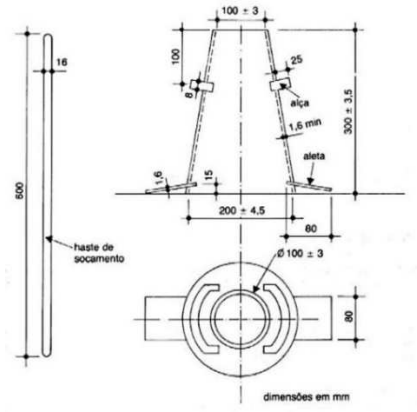
Fonte: Adaptado de ANDOLFATO, 2002

A Figura 5 exemplifica o ganho de resistência do concreto, sendo que mesmo após 365 sem iniciar o processo de hidratação, uma peça de concreto pode iniciar o seu ganho de resistência bastando apenas estar com a umidade ideal para ocorrência de tal fenômeno, assim como o pequeno aumento de resistência gradual que ocorre em peças onde é realizada a cura logo após a sua execução.

5.1.12 Ensaio de abatimento do tronco cone.

O ensaio de abatimento do tronco de cone atua na análise da consistência do concreto e a sua execução ocorre de acordo a NBR NM 67, neste ensaio um molde é preenchido até o seu topo sendo devidamente adensado, para que posteriormente esse tronco seja retirado verificando a diferença entre a altura dele e a altura do concreto fresco recém-desformado. A Figura 6 mostra as dimensões que os equipamentos devem ter para a execução adequada do ensaio.

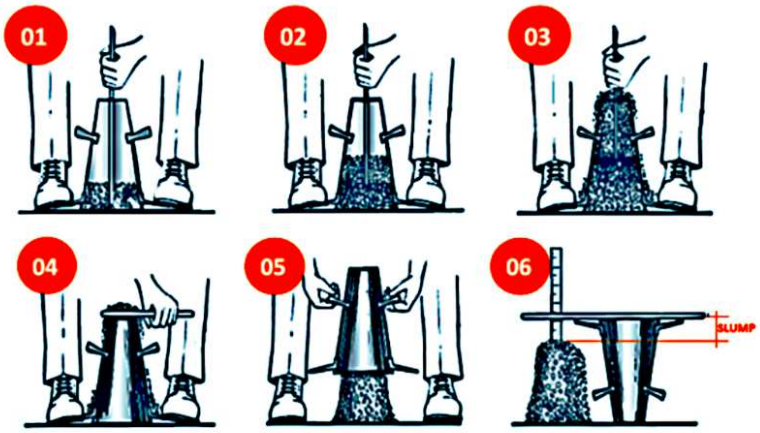
Figura 6 - Dimensões padrão de tronco de cone e haste



Fonte: DURANTE, 2000.

O valor obtido neste ensaio é dependente de muitos fatores relacionados com a dosagem do concreto. Como fator principal temos a quantidade de água usada, a granulometria dos agregados e a colocação de aditivos que mudam a consistência do concreto. O fator consistência deve ser considerado na elaboração do traço de concreto, onde qual tipo de estrutura o concreto será destinado. Por exemplo, em estruturas onde tenha muitas armaduras tem que ser colocado um concreto que tenha maior fluidez para poder passar pelas ferragens e evitar a segregação, já em estruturas maciças seria mais viável o uso de um concreto com uma fluidez reduzida (ANDOLFATO, 2002).

Figura 7 - Procedimento de realização do Slump Test.



Fonte: Nelson Schneider, 2018.

A Figura 7 mostra os passos para a determinação do valor de abatimento onde o molde deve ser enchido em 3 camadas alcançando o topo do molde, em cada camada deve ser feito uma compactação com 25 golpes cada com a haste, para uniformizar a seção da camada. Em seguida como mostrado no passo 4 deve uniformizar a superfície do concreto e fazer a limpeza da base, após a limpeza se realiza o levantamento de maneira constante, e por último como mostrado no passo 6 verifica-se a diferença de altura entre o topo do molde e o eixo do concreto moldado (NELSON SCHNEIDER, 2002).

5.1.13 Estados do concreto

Enquanto o concreto está fresco há alguns parâmetros que devem ser analisados, seja a sua trabalhabilidade, coesão, se há a ocorrência de segregação ou exsudação. Isso pode evitar problemas tanto no momento da concretagem como após ela. No canteiro de obra, na moldagem do concreto, o fator mais relevante é a trabalhabilidade, esta característica não está ligada somente à quantidade de água presente no concreto (GEYER; SÁ, 2006).

A trabalhabilidade é quando um concreto que ainda em estado fresco possui uma homogeneidade dos seus componentes, apresentando consistência, mobilidade das misturas e coesão de componente (BORTOLINI, 2012).

Outro fator a ser considerado no concreto fresco é o fenômeno de segregação e exsudação. A exsudação se caracteriza pela manifestação de líquido na superfície do concreto, onde os componentes de maior peso se encontram na parte inferior, de forma não homogênea, acontecendo a segregação (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Ao longo dos anos compreendeu-se que fatores como as características dos componentes do concreto, aditivos e a quantidade correlacionada desses materiais influenciavam na resistência final. Com isso foi definido que fatores como a relação água/cimento, idade e adições deveriam ser amplamente estudados previamente da fabricação do concreto (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011).

Dentre as diferentes forças existentes como a tração, flexão, cisalhamento e compressão. Tem para o concreto a sua resistência principal a de compressão onde essa resistência é determinada por ensaio de corpos de prova, que devem seguir as orientações da NBR 5739 (ABNT, 2009). Os corpos de prova segundo a NBR 5738 (ABNT, 2015) devem ser prismáticos ou cilíndricos onde a resistência é determinada

pelo quociente da força aplicada pela área resistida, abaixo o exemplo da fórmula utilizada para calcular a resistência à compressão de corpos de prova cilíndrico.

$$\boldsymbol{Fc = \frac{4F}{\pi D^2}} \quad \textbf{(3)}$$

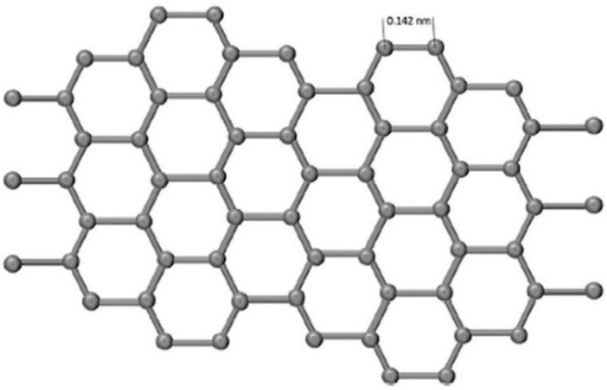
Outro meio de analisar o concreto em estado rígido e por ensaios não destrutivos, muito utilizado em estruturas antigas e verificação da qualidade de novas estruturas. Com métodos não destrutivos é possível também avaliar condições da estrutura do concreto (SCHIAVON, 2015).

5.2 Grafeno

5.2.1 Conceitos gerais

O grafeno é um composto bidimensional de carbono compactado hexagonal como mostrado na Figura 8, que devido a suas peculiares características são um potencial tendência ao desenvolvimento tecnológico de uma diversidade de áreas sendo considerado o material do século XXI. Este composto foi isolado em 2004 pelos cientistas russos Andre Geim e Konstantin Novoselov, na universidade de Manchester na Grã-Bretanha, tal descoberta anos mais tarde lhes renderam o prêmio de Nobel de física em 2010. A adição do grafeno ao concreto vem sendo estudado por muitas universidades onde pode-se desenvolver concreto mais leves e com capacidade termo acústica melhorados (SANTOS, 2013).

Figura 8 - Estrutura do Grafeno



Fonte: PHIRI; GANE; MALONEY, 2017.

Por possuir propriedades eletrônicas, térmicas e mecânicas o grafeno vem sendo estudado de modo a conseguir sintetizá-lo de uma forma otimizada de modo que o custo não seja tão alto e não se perca a eficiência do composto (NOVOSELOV *et al*., 2012).

O Brasil possuindo mais da metade de reservas de grafite do mundo ainda não possui capacidade de produzir e utilizar grafeno em escala comercial, o que dificulta investimentos de indústrias tecnológicas que utilizam o grafeno nos seus produtos, visto a gama de produtos que podem ser produzidos a partir deste material, avanços tecnológicos atenderam diretamente interesses do estado brasileiro e de toda a sociedade (Pasin, 2018).

O Quadro 9 mostra as potencialidades do grafeno em diversas áreas tecnológicas descobertas por pesquisadores distintos,

Quadro 9 - Propriedades do grafeno

Propriedades	**Características observadas do grafeno**
Elétrica	O grafeno apresenta um efeito de campo elétrico ambipolar de forma que quando se aplica uma tensão sobre a estrutura de carbono acontece uma promoção de elétrons, já quando ocorre uma polarização negativa, forma-se buracos na camada de valência. Devido a isso os transistores de efeito de campo podem chegar a uma frequência de 100 GHz.
Térmica	Sendo um material com uma forte ligação covalente entre carbonos, o grafeno possui uma alta condutividade térmica, que potencialmente pode ser usado para desenvolvimento e aperfeiçoamento de dispositivos eletrônico, visto que com os avanços tecnológicos há uma geração considerável de calor, assim o grafeno poderia agir como um agente dissipador.
Ótica	A absorção de luz pelo grafeno varia de acordo com o número de camadas onde é analisado, porém, enquanto composto sua absorção é de apenas 2,3% em uma faixa de comprimento de onda ampla. Isso reforça a sua utilidade ao uso na área eletrônica

	que poderia ser utilizada em, por exemplo, telas mais resistentes para aparelhos celulares.
Mecânica	Os materiais que apresentam ligações de carbono costumam ser bastante resistentes apresentando alta dureza, com o grafeno não seria diferente. Embora haja uma dificuldade de fazer experimentos devido ao seu tamanho manométrico, por simulações é possível ter uma noção do que o grafeno conseguiria resistir. Uma folha feita a partir de óxido de grafeno apresentou uma resistência de 120 MPa e um módulo de Young de 30 GPa.

Fonte: Adaptado de NETO (2009), DE MELO RAMOS (2021), SOUZA (2016), NASCIMENTO (2016).

5.2.2 Uso e aplicações

Devido a características do grafeno ele tem sido usado ou tido como potencial elemento em várias aplicações sendo algumas delas já comercializadas atualmente:

Quadro 10 - Aplicações do grafeno

Armazenamento de energia	o grafeno pode melhorar a taxa de carregamento de baterias, produzir capacitores para um maior armazenamento de energia, uma produção mais barata células solares mais leves e flexíveis.
Aplicações em sensores	potencial avanço para sensores biológicos e químicos devido sua permeabilidade a água. Estudos descobriram que pelo ruído de transmissores de grafeno é possível realizar uma detecção seletiva de gás.
Tinta grafeno	O grafeno possui uma combinação única de propriedades que é muito adequada para produtos eletrônicos de ponta, incluindo flexibilidade mecânica, alta condutividade e estabilidade química. Muitos trabalhos de pesquisa provaram a viabilidade da fabricação de produtos eletrônicos à base de grafeno por uma estratégia de impressão de tinta de alto rendimento.
Transistores e memórias	os transistores baseados em grafeno são considerados sucessores potenciais de alguns dos componentes de silício atualmente em uso. Como os elétrons passam pelo grafeno

	mais rápido do que o silício, é possível que esse material faça cálculos de terahertz
Fotodetectores	foi demonstrado que o grafeno poderia ser usado na área de telecomunicações, e para aplicações fotônicas ultra rápidas.
Revestimento	revestimentos a base de grafeno podem ser utilizados para diversas finalidades como na formação de superfícies hidrofóbicas, para proteger materiais da corrosão.
Outros	poderia ser usado também em alto-falantes, blindagens para radiação, gerenciamento térmico, lubrificação, purificação da água, e até mesmo máscaras eficazes contra a COVID-19.

Fonte: Berger, 2021.

5.2.3 Formas de obtenção do grafeno.

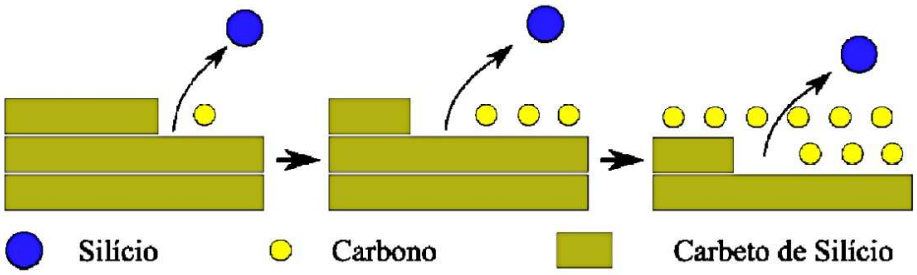
A esfoliação mecânica é feita utilizando uma fita adesiva sobre uma superfície de grafite limpa para separar as folhas de grafeno que são bastante difíceis de se enxergarem a olho nu, após separadas estas folhas bidimensionais são armazenadas em um local desejado. Este método é relativamente simples e obtém a melhor cristalização do material, porém não alcança uma escala industrial sendo viável apenas a pesquisas laboratoriais (SÁ, 2011).

A esfoliação química em fase líquida utiliza substâncias químicas de fácil aquisição como o ácido nítrico, cloreto de potássio, ácido sulfúrico com o intuito de que esses reagentes quebrem as interações de takingπ-π esfoliando o material. Este método consegue obter o material em grande escala, a desvantagem é a perda da qualidade eletrônica das folhas de grafeno (SOLDANO *et al.*, 2010).

A extração do grafeno por deposição química em forma de vapor utiliza um metal, onde será formada ligações na sua superfície, este processo detém uma configuração eletrônica estável, porém o fator do tamanho da folha de grafeno está atrelado ao tamanho da superfície do metal, essa seria uma desvantagem quanto esse método. Com isso é introduzido um gás carbonáceo que normalmente utiliza-se no benzeno no forno de deposição química de vapor. A principal desvantagem desse método é que o grafeno obtido é policristalino reduzindo sua condutividade elétrica (BARCELOS, 2010).

Já pelo método de crescimento epitaxial em carbeto de silício obtém o grafeno através do aquecimento do carbeto de silício, enquanto os átomos de silício se sublimam, a estrutura do carbono se mantém na superfície, embora essa técnica apresente um resultado satisfatório o seu custo de operação é muito alto se tornando uma desvantagem (GONÇALVES, 2013).

Figura 9 - Carbeto de silício na etapa de sublimação



Fonte: Gonçalves, 2012.

5.2.4 Influência do grafeno em propriedades cimentícias

Muitas pesquisas relacionam o efeito do grafeno em pastas de cimentos e no concreto, notando assim reações nas propriedades onde ele é empregado.

Na resistência mecânica do concreto Xu *et al. (2015),* obteve um ganho de 15% com a adição de 0,12% de MWCNTs (nanotubos de carbono de paredes múltiplas), já Costa (2019), obteve um ganho de 41,05% de resistência com o uso do óxido de grafeno em pó.

Quanto à trabalhabilidade, constata-se que a introdução de nanomateriais à base de carbono provoca uma alteração na consistência, reduzindo a trabalhabilidade. Pan *et al*. (2015) comprovou isso ao comparar misturas com e sem OG (óxido de grafeno). Para Barbosa (2015) o fator que interfere na redução de consistência são as grandes áreas superficiais dos nanomateriais, que absorvem parte da água presente no traço, sendo que os grupos hidrofílicos na superfície do OG contribuem para a perda de consistência.

Quanto a porosidade LV *et al*. (2014) em sua pesquisa observou que quanto maior a quantidade de óxido de grafeno utilizado menor é o diâmetro e a porosidade, isto porque o OG poderia preencher e regularizar vazios, diminuindo assim o tamanho de poros afetando positivamente na resistência mecânica.

Na hidratação do cimento o OG possui a capacidade de melhorar o produto da hidratação do cimento, podendo se observar a formação de cristais em forma de flores que devido a espaços entre cristais melhore a resistência a tração, possível também verificar a ocorrência de poliedros cristalinos com densa estrutura, impactando na resistência mecânica de compressão (LV *et al*., 2014).

O módulo de elasticidade segundo Pan *et al*. (2015), por meio da adição de 0,05% de óxido de grafeno por parte de cimento obteve um aumento de 0,22 GPa, podendo ser uma consequência do grafeno na quantidade e número de poros.

Para a resistência à tração Xu *et al. (2015) verificou* um aumento de até 40% utilizando 0,2% de MWCNTs por parte de cimento. Resultado semelhante ocorreu com o uso de óxido de grafeno utilizando valores como 0,06% por parte de cimento.

5.3 Ensaio de compressão

5.3.1 Amostragem

As amostras de concreto fresco devem ser retiradas no máximo tempo de 15 minutos entre uma retirada e outra, o volume coletado deverá ser o necessário para a quantidade de corpos de prova desejado vezes 1,5 sendo que para ensaios a compressão o volume mínimo será de 30L. Em betoneiras estacionárias ou caminhões (betoneiras) as amostragens são coletadas após a retirada dos primeiros 15% volume de concreto e antes da descarga dos 85% de volume total, este processo é executado de forma que não induza a segregação de materiais (NBR NM 33, 1998).

5.3.2 Procedimento de moldagem de corpos de prova

A NBR 5738 (ABNT, 2015) define padrões sobre a confecção de corpos de prova para assegurar uma padronização para a realização de ensaios.

O formato do molde pode ser cilíndrico com a tolerância de 1% para o diâmetro e 2% para a altura desde que a altura do molde corresponda a duas vezes o diâmetro da peça, ou prismáticos com tolerância máxima de 2%, ou 2 mm, dependendo da dimensão adotada. O material do molde deve ser não absorvente e que não seja de algum composto que provoque reação com o cimento, o molde deve possuir mecanismos que permita que o desmolde ocorra de forma que não danifica a peça de concreto (NBR NM 33, 1998).

A execução da moldagem se começa pela lubrificação do molde com um material que não provoque reação com o cimento, em geral, são usados óleos minerais, a superfície onde ele será apoiado e armazenado deve ser rígida, plana, livre de vibrações ou outro movimento que possa provocar a desfiguração do concreto fresco. São permitidos prismas e cilindros de acordo como demonstrado no Quadro 11.

Quadro 11 - Camadas de adensamento para corpos de prova.

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	-	-

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5738, 2015

Ao preencher o molde com o concreto em estado fresco, utiliza-se concha de seção U obedecendo ao número de camadas estabelecidas ao se considerar o adensamento da mistura, assegurando também a uniformidade da mistura.

Após preenchido o molde os mesmos devem ser armazenados em ambiente livre de perturbações e intempéries cobertos com material não reativo ou absorvente para evitar a perda de umidade da peça por até 24h para corpos de prova cilíndrico e 48h para corpos de prova prismáticos.

5.3.3 Equipamento para exercer esforço de compressão.

Para um equipamento estar hábil para realizar o ensaio validar com os requisitos da NBR 5739 (NBR, 2007), são alguns desses requisitos:

- Possuir a capacidade de exercer a aplicação carga controlada sobre os corpos de prova através de pratos de compressão, os movendo verticalmente estando paralelos com o eixo vertical da máquina;

- Apresentar ajuste entre os pratos de compressão de forma que a distância entre eles seja maior que a altura do corpo de prova em pelo menos 5 mm;
- Um sistema de indicação que após a realização de cada ensaio possa ser mostrada a carga máxima aplicada sobre o prisma de concreto;
- Verificação da máquina entre intervalos de 6 meses ou a cada 5000 aplicações de carga;

5.3.4 Execução

A NBR 5739 (ABNT, 2007) diz que até um corpo de prova atinja a idade prescrita no ensaio ele deve ser mantido em processo de cura permanentemente, quando a cura é realizada em câmara úmida a norma diz que o corpo de prova deve ser ensaiado nas mesmas condições de umidade, já quando a hidratação acontece por meio da saturação o ensaio necessita de acontecer o mais rápido possível, sendo indicado que ocorra no local onde será conduzido a pesquisa. A carga aplicada deve acontecer de forma contínua sem choques numa velocidade de 0,3 MPa/s a 0,8 MPa/s até o momento de sua ruptura, não podendo haver interrupções.

5.3.5 Apresentação de resultados

A catalogação de resultados de corpos de prova deverá ser de acordo com ABNT NBR 5739:2007 constar seu número de identificação, data de moldagem, idade só corpo de prova, data da realização do ensaio, a carga em mega pascal (MPa) com aproximação de uma casa decimal e o tipo de ruptura ocorrida no bloco.

5.4 Parâmetros para análises de dados

5.4.1 Coeficiente de correlação de Pearson

Na análise de dados muitas vezes nos deparamos com a situação de ter muitas variáveis “x” em função de um resultado “y”. Disso posto, pode surgir a seguinte dúvida: qual a relação ou impacto de uma variável em um determinado resultado? Nisto entra o coeficiente de correlação de Pearson (r) sendo uma medida de associação entre duas variáveis distintas. Duas variáveis podem se associar a partir

da distribuição da frequência ou pelo compartilhamento de variância, sendo uma medida de variância compartilhada (FIGUEIREDO FILHO & SILVA JÚNIOR; 2009).

A forma de calcular o coeficiente é dado pela equação (4) após escolhido variável X e Y que se deseja analisar.

$$r = \frac{1}{n-1}\sum\left(\frac{xi - \bar{X}}{Sx}\right) * \left(\frac{yi - \bar{Y}}{Sy}\right) \quad \textbf{(4)}$$

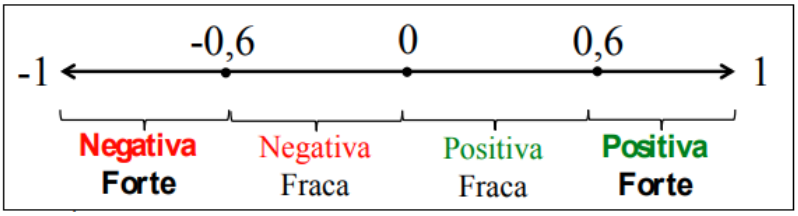
Onde “n” representa o número de amostras, “xi” e “yi” cada uma das variáveis do conjunto de dados, “$\underline{X}$” e “$\underline{Y}$” à média dos valores de X e Y, assim como “Sx” e “Sy” correspondente ao desvio padrão das duas variáveis citadas.

Moore e McCabe (2004) há algumas observações que se deve atentar:

- O coeficiente de correlação não diferencia entre variáveis dependentes e independentes cabendo a analista identificar estas dependências;
- Quando se analisa a correlação entre duas variáveis não se sabe quem varia em função da outra;
- O valor de unidade de medida das variáveis não altera o valor de correlação;
- O coeficiente possui caráter adimensional;
- A correlação exige que os dados sejam contínuos dispensando assim dados categóricos;
- Os valores devem estar normalmente distribuídos;

A métrica de correlação varia de 1 a -1 onde em casos reais será bastante difícil duas variáveis alcançarem esses dois valores extremos, cabendo assim ao pesquisador definir os níveis de correlação considerando os dados e sua pesquisa.

Figura 10 - Níveis de correlação



Fonte: FOSSATI & BERTI, 2019.

Assim como todo modelo de análise de dados possui suas vantagens e desvantagens cabendo ao analista definir que variáveis deveres ou não usar.

5.4.2 Regressão linear múltipla

Sendo a regressão linear simples um modelo de predição onde por uma equação relacionamos vários elementos de uma variável independente X a uma variável dependente Y, esse modelo se torna pouco prático quando se temos bases de dados cada vez maiores onde um só fator não consegue explicar determinado fenômeno. A RLM (regressão linear múltipla) entra como um solucionador a estes problemas onde podemos interpolar “n” valores a um resultado esperado como mostrado na Equação (5).

$$y = \beta 0 + \beta 1 * x1 + \beta 2 * x2 + \cdots + \beta n * xn \quad \textbf{(5)}$$

Onde “$\beta 0$” representa o intercepto-y, "βn" coeficientes correspondentes a cada valor de “xn” e “n” o número de variáveis independentes.

A regressão múltipla é um complemento da regressão linear simples, porém em vez de pensarmos em um plano bidimensional, com a RLM pensaríamos em um plano n-dimensional resultando em um hiperplano, podendo assim estimar o valor de uma variável dependente, realizar investigações de causa e efeito e até predizer valores da variável dependente em uma situação que não está presente em um banco de dados, criando intuições e influenciando em tomadas de decisões. (DE OLIVEIRA FILHO, 2002).

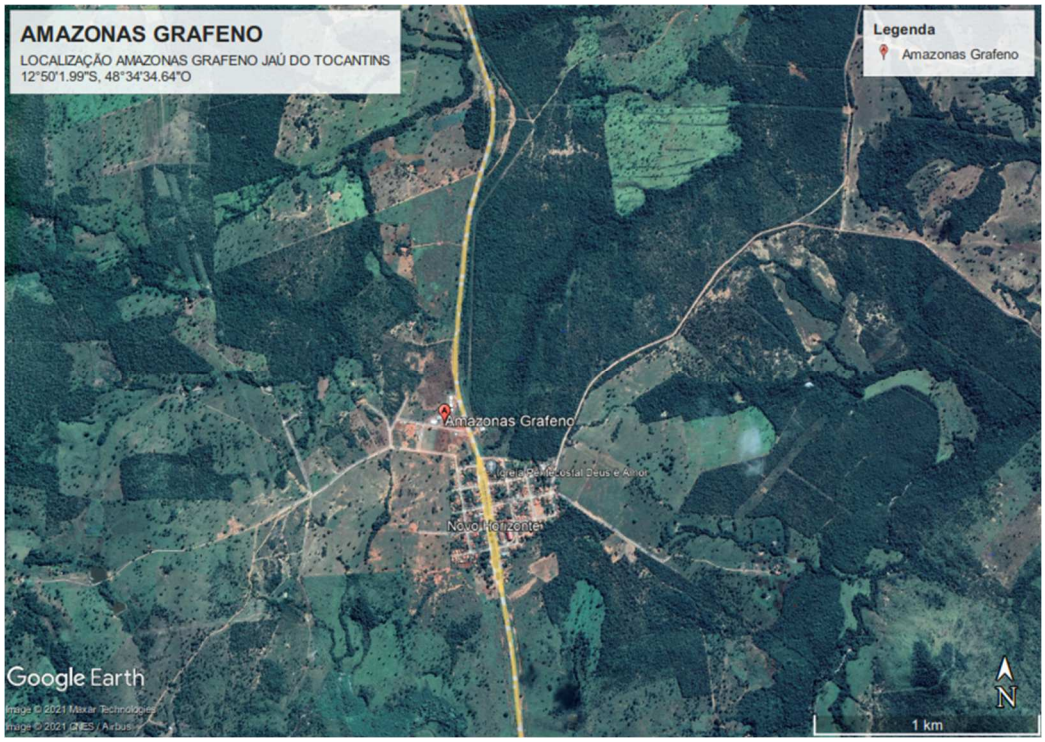
6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foi tomado como base para a metodologia uma pesquisa descritiva-quantitativa. Assim foi realizada inicialmente uma busca bibliográfica de modo a buscar embasamento científico e referências em artigos, teses e livros publicados sobre o concreto, grafeno e sobre como é feito e que cuidados devem ser tomados ao executar ensaios de resistência à compressão por ruptura, com o intuito de obter confiabilidade de resultados para assim realizar uma justa comparação de resultados.

6.1 Composto de grafeno a ser utilizado.

O material usado como aditivo no traço de concreto foi o composto de grafeno fornecido pela mineradora AMAZONAS GRAFENO LTDA, este material é extraído em jazidas localizadas em Novo Horizonte Jaú do Tocantins – TO. Rodovia TO 498 km27.

Figura 11 - Localização mineradora Amazonas Grafeno



Fonte: Google Maps, 2021.

A extração do material ocorre em furos de até 3 metros, os furos são todos registrados com as coordenadas dos locais. Segundo a empresa, o local já é estudado por pouco mais de 12 anos e a taxa de sucesso por furo é de cerca de 10%, onde as amostras em potencial são enviadas para um laboratório credenciado pela ANM (Agência Nacional de Mineração). A Figura 12 disponível no site da empresa mostra como são conduzidas as perfurações onde não são utilizadas grandes máquinas de modo a não desmatar a área de coleta.

Figura 12 - Realização de pesquisas em campo

Fonte: Amazonas grafeno, 2021

No site da mineradora há dois compostos de grafenos disponíveis, o GP1 que seria o grafeno em estado seco, e o GP2 classificado como de mistura fácil sendo indicado pela empresa em aplicações como: cimento, argamassa, tinta, cola, gesso e cal. Nesta pesquisa será utilizado o composto GP2, na embalagem é descrita sua composição sendo: 70% de folhas de grafeno, 20% areia fina e 10% água.

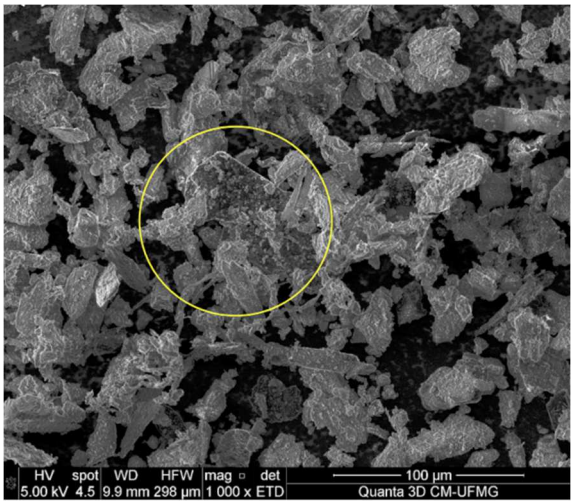
Figura 13 - Consistência do composto de grafeno

Fonte: Autor, 2021.

Em seu boletim técnico esse composto é definido como flocos de grafeno com tamanho de 0,5 a 10 micrômetros, podendo apresentar 1 ou 2 camadas. A Figura 14

mostra uma imagem da substância ampliada por um MEV-EDS (Microscópio Eletrônico de Varredura).

Figura 14 – Imagens do composto de grafeno por MEV-EDS

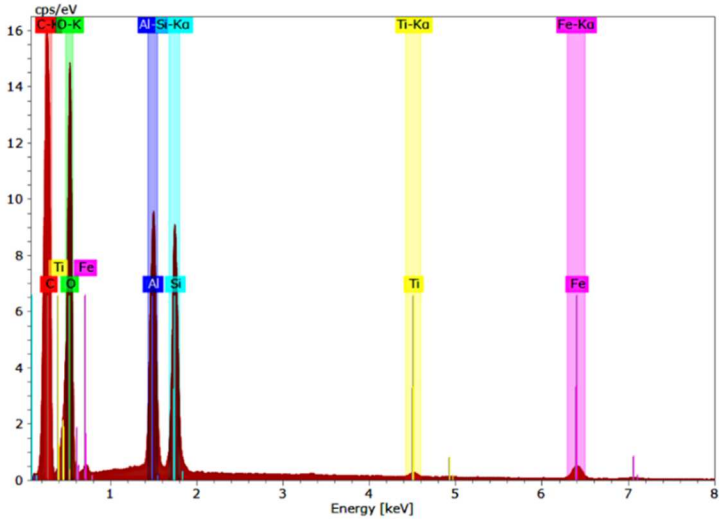


Fonte: CTNANO UFMG (Centro de tecnologia em Nano materiais e Grafeno UFMG), 2021.

Uma caracterização feita pela CTNANO UFMG (Centro de tecnologia em nano materiais e grafeno da Universidade Federal de Minas Gerais), identificou por meio do MEV-EDS, na região analisada, partículas com morfologia, dimensões e tamanho de grãos diferentes, sendo estes grãos de natureza grafítica, embora haja partículas de elementos distintos.

No mesmo relatório há também uma espectroscopia de dispersão de Raio-X (EDS) conforme mostrado na Figura 15 um mapeamento de elementos químicos presentes, foram identificados: alumínio (Al), carbono (C), Ferro (Fe), Oxigênio (O), silício (Si) e Titânio (Ti). O parecer técnico final indica que seja feito para uma maior precisão na definição do material uma microscopia eletrônica de transmissão para obter informações estruturais do elemento, espectroscopia de Raman para informações químicas e estruturais, análise termo gravimétrica (TGA), para identificar a pureza do material e por último uma difração de raio-X (DRX) para complemento da composição elementar do composto de grafeno.

Figura 15 - Espectroscopia de dispersão de Raio-X (EDS)



Fonte: CTNANO UFMG, 2021.

6.2 Materiais e equipamentos utilizados

Segue a lista de materiais utilizados na pesquisa:

- Cimento CP-V;
- Agregado miúdo (areia);
- Pó de pedra;
- Brita 0;
- Brita 1;
- Água;
- Aditivo;
- Grafeno aditivo fácil GP2 fornecido pela Amazonas grafeno;

Equipamentos usados no trabalho para produção do concreto e realização do ensaio de ruptura:

- Balança de precisão para teste de umidade;
- Balança digital.
- Betoneira 150L;

Todos os materiais e equipamentos foram disponibilizados pela empresa Concretins da cidade de Gurupi-TO.

Figura 16 - Betoneira 150L utilizada

Fonte: Autor, 2021.

- Baldes de 16L;
- Kit de Slump Test. (base, haste, funil, cone);
- Colher de pedreiro;
- Moldes de corpos de prova com dimensão de 20X10 cm;
- Paquímetro;
- Tanque para realização de cura por saturamento;
- Prensa hidráulica;

Figura 17 - Modelo Prensa Utilizada

Fonte: Autor, 2021.

6.3 Parâmetros da pesquisa

Para a realização da pesquisa foram utilizados traços com duas relações água/cimento diferentes: 0,66 e 0,84. Os valores de abatimento foram ajustados de 80 a 100 mm para traços com relação à água/cimento de 0,66 e de 140 a 160 mm para os traços de 0,84. As adições feitas aos traços correspondem a 0,1%, 0,5%, 1% e 5% de composto de grafeno por parte de cimento de modo a comparar os seus resultados.

Figura 18 - Verificação do abatimento

Fonte: Autor, 2021.

A Figura 18 mostra o ensaio de abatimento realizado no traço de relação água cimento de 0,66 onde foi alcançado o valor de slump esperado.

Para maior confiabilidade nos resultados obtidos foram adotados alguns procedimentos, como a correção do traço sobre a quantidade de água presente nos agregados, onde se executou o teste de umidade nos agregados miúdos (Pó de brita e areia), como mostrado na Figura 19, antes de cada betonada realizada.

Figura 19 - Verificação de umidade Areia e Pó de brita

Fonte: Autor, 2021.

Também foi priorizada a quantidade de materiais a serem colocados na betoneira, como mostra a Figura 20, utilizando uma balança com medição em gramas com o intuito de obter a melhor padronização dos traços.

Figura 20 - Separação de materiais por massa

Fonte: Autor, 2021.

6.4 Confecção dos corpos de prova

Os corpos de prova foram moldados nas dependências da empresa de concreto usinado Concretins que fica localizada na cidade de Gurupi-To. Seguindo as normas da NBR 5738 (ABNT, 2015) utilizaram-se corpos de prova no formato cilíndrico com dimensões de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura.

Diante desta pesquisa foi estabelecido a quantidade de 8 corpos de provas por dia/traço, isso significa que cada traço resultará em 16 corpos de provas com rompimentos definidos para 7, e 28 dias após o seu início de cura. Tendo como exceção somente o traço onde foi utilizado 5% do composto visto que por ser uma quantidade mais onerosa optou-se neste caso o uso de 4 corpo de prova por dia/traço, mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Traço por parte de cimento

Definição	Cimento CP-V (kg)	Areia (kg)	Pó de Pedra (kg)	Brita 0 (kg)	Brita 1 (kg)	Água (L)	Aditivo (L)	Grafeno (kg)
T-0% A/C 0,84	1	1,952	1,052	0,682	2,73	0,84	0,007	0,000
T-0,1% A/C 0,84	1	1,952	1,052	0,682	2,73	0,84	0,007	0,001
T-0,5% A/C 0,84	1	1,952	1,052	0,682	2,73	0,84	0,007	0,005
T-1% A/C 0,84	1	1,952	1,052	0,682	2,73	0,84	0,007	0,010
T-0% A/C 0,66	1	1,952	1,052	0,682	2,73	0,66	0,007	0,000
T-0,1% A/C 0,66	1	1,952	1,052	0,682	2,73	0,66	0,007	0,001
T-0,5% A/C 0,66	1	1,952	1,052	0,682	2,73	0,66	0,007	0,005
T-1% A/C 0,66	1	1,952	1,052	0,682	2,73	0,66	0,007	0,010
T-5% A/C 0,66	1	1,952	1,052	0,682	2,73	0,66	0,007	0,050

Fonte: Autor, 2021

A colocação dos materiais na betoneira respeitou a seguinte ordem:

1º - Efetuou a correta separação dos materiais a serem utilizados em recipientes individuais;

2º - O grafeno foi dissolvido em água e previamente agitado antes de ser introduzida na mistura

3º - Com a betoneira ligada, colocou-se primeiramente agregados graúdos, em seguida 1/3 da água com o composto de grafeno dissolvido, posteriormente o cimento, mais 1/3 da água prevista, assim foi posto o agregado miúdo, e por fim o restante de água e se fixou o tempo mínimo de 5 minutos.

6.5 Realização do ensaio de compressão

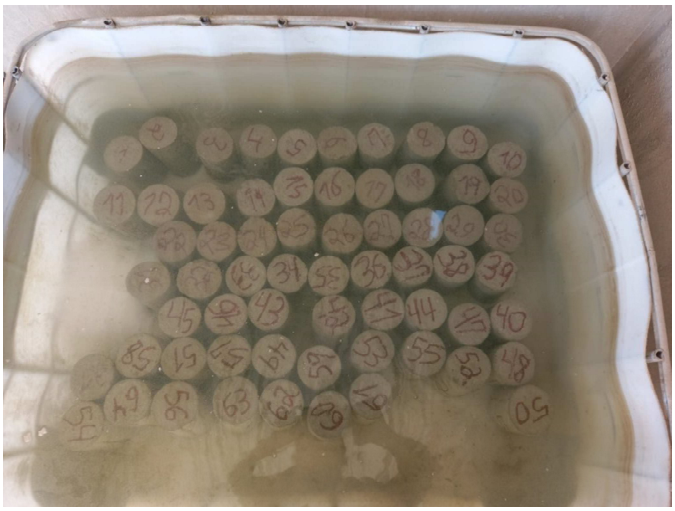
Os corpos de prova após serem moldados são desformados após o período de 24 horas. Posteriormente, realizou-se a identificação do CP (corpo de prova), como mostra a Figura 21, e pesagem do mesmo, para assim entrar no processo de cura saturada até atingir a quantidade de dias especificados para o rompimento.

Figura 21 - Identificação e pesagem de corpos de prova

Fonte: Autor, 2021.

De modo a evitar que com o tempo as marcações dos CPs de deterioram, foram realizadas anotações na parte superior, inferior e laterais dos corpos de prova com pincel atômico e lápis de pedreiro, como mostra a Figura 22.

Figura 22 - Tanque para cura de corpos de prova



Fonte: Autor. 2021.

Para a realização do ensaio, foram seguidas as normas da NBR 5739 (ABNT, 2015). Antes dos rompimentos, os corpos de prova serão medidos para avaliar se as suas dimensões concordam com os índices de tolerância exibidos por norma. Feito isso, serão pesados novamente para realização de análises estatísticas. Após o

ensaio, os dados do corpo de prova foram anotados, alimentando o “banco de dados” dos ensaios, representado na Figura 23.

Figura 23 - Exemplo de ruptura de corpo de prova

Fonte: Autor, 2021.

Para melhor compreensão e síntese destes resultados usaram-se “softwares” de análise de dados como Excel e Jupyter Notebook, onde foram utilizados principalmente regressões lineares e índice de correlação de Pearson para verificação do comportamento do grafeno na mistura da massa de concreto.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total foram realizados 132 ensaios, mas apenas foi abordado o resultado de 128 devido a boas práticas quanto ao uso da correlação de Pearson e da RLM (Regressão Linear Múltipla).

A Tabela 2 mostra um resumo dos ensaios realizados de maneira simplificada mostrando a média das resistências e massas observadas em virtude das variáveis analisadas no traço (relação água/cimento, idade, porcentagem de grafeno por parte de cimento adicionada).

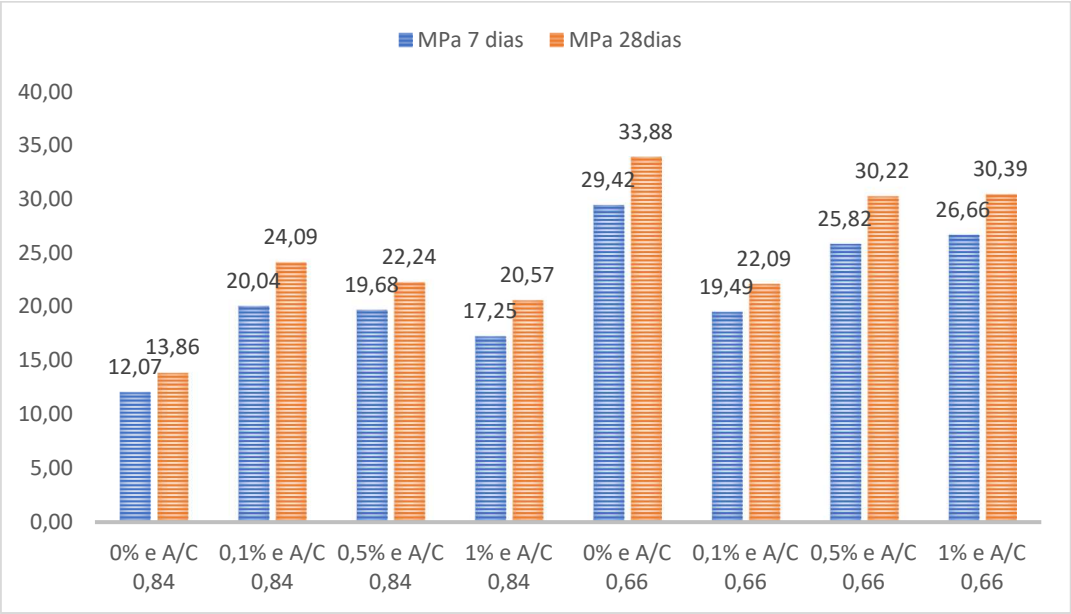
Tabela 2 - Média de resistência por traço/dia

DATA MOLDAGEM	DATA DESMOLDAGEM	DATA RUPTURA	% GRAFENO	IDADE	RELaÇÃO ÁGUA/ CIMENTO	MASSA PÓS DESFORMA (MÉDIA) (KG)	MASSA PÓS CURA (MÉDIA) (KG)	RESISTÊNCIA (MÉDIA) (MPa)
25/08/2021	26/08/2021	02/09/2021	0,0%	7	0,84	3,396	3,469	12,07
26/08/2021	27/08/2021	03/09/2021	0,1%	7	0,84	3,561	3,596	20,04
27/08/2021	28/08/2021	04/09/2021	0,5%	7	0,84	3,448	3,490	19,68
28/08/2021	29/08/2021	05/09/2021	1,0%	7	0,84	3,462	3,493	17,25
02/09/2021	03/09/2021	10/09/2021	0,0%	7	0,66	3,587	3,646	29,42
13/09/2021	14/09/2021	21/09/2021	0,1%	7	0,66	3,610	3,675	19,49
14/09/2021	15/09/2021	22/09/2021	0,5%	7	0,66	3,636	3,671	25,82
15/09/2021	16/09/2021	23/09/2021	1,0%	7	0,66	3,638	3,698	26,66
07/10/2021	08/10/2021	15/10/2021	5,0%	7	0,66	3,665	3,721	21,80
25/08/2021	26/08/2021	23/09/2021	0,0%	28	0,84	3,350	3,442	13,86
26/08/2021	27/08/2021	24/09/2021	0,1%	28	0,84	3,547	3,593	24,09
27/08/2021	28/08/2021	25/09/2021	0,5%	28	0,84	3,428	3,494	22,24
28/08/2021	29/08/2021	26/09/2021	1,0%	28	0,84	3,452	3,500	20,57
02/09/2021	03/09/2021	01/10/2021	0,0%	28	0,66	3,603	3,668	33,88
13/09/2021	14/09/2021	12/10/2021	0,1%	28	0,66	3,570	3,638	22,09
14/09/2021	15/09/2021	13/10/2021	0,5%	28	0,66	3,642	3,688	30,22
15/09/2021	16/09/2021	14/10/2021	1,0%	28	0,66	3,593	3,677	30,39
07/10/2021	08/10/2021	05/11/2021	5,0%	28	0,66	3,650	3,721	26,42

Fonte: Autor, 2021.

Para uma visualização mais intuitiva dessas médias a Figura 24 mostra a comparação apresentada na tabela acima. A primeira impressão vista é que o grafeno interferiu diferentemente entre os traços com relação água cimento distintos, também não se percebeu uma inferência direta de ganho de resistência a partir do uso de uma maior quantidade de grafeno assim como não houve uma resposta significativa quanto a um aumento de ganho de resistência aos 28 dias ao se comparar os resultados.

Figura 24 - Gráfico comparação média de resistências.



Fonte: Autor, 2021.

Para variáveis independentes em função da variável dependente “resistência” foram escolhidas: a porcentagem de grafeno por parte de cimento, relação A/C (água cimento), idade, massa de desforma obtido logo após a desmoldagem dos corpos de prova, massa pós-cura que seria a razão de ganha sobre o peso de desforma conforme mostra a Equação (6).

$$GR\% = \frac{MPC - MPD}{MPD} * 100 \quad \textbf{(6)}$$

Onde “GR%” representa o ganho de massa em porcentagem, “MPC” massa obtida após o período de cura e “MPD” a pesagem obtida após a desforma dos CPs.

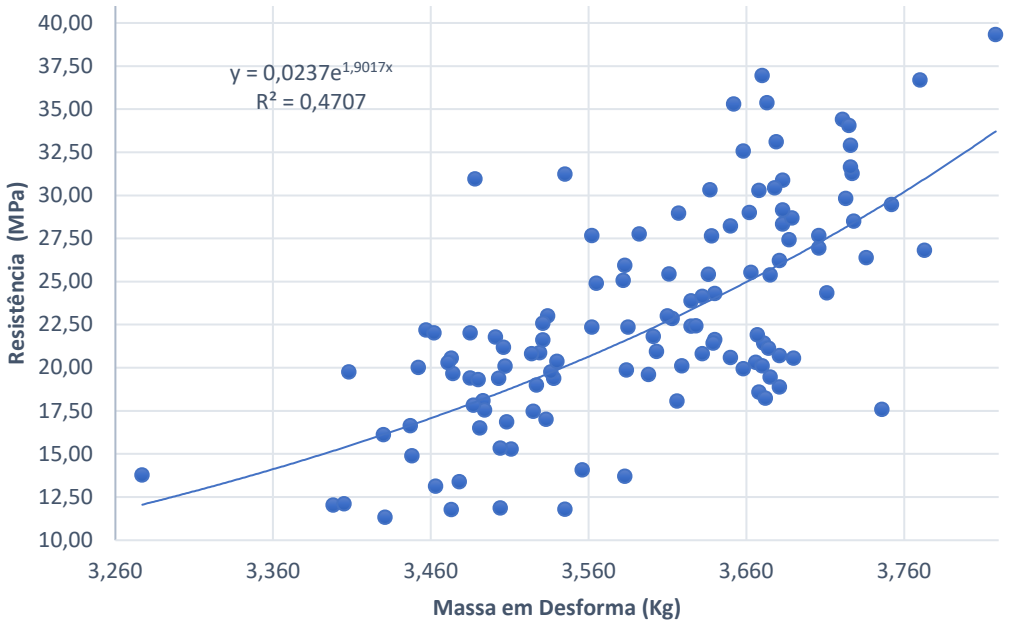
A Figura 25 mostra os resultados obtidos a partir da correlação de Pearson onde neles percebemos valores que condizem com a bibliografia teórica, por exemplo, a ligação entre a relação água cimento e a resistência onde foi encontrada uma correlação negativa considerável nas amostras de dados analisadas, assim como na comparação entre idade do corpo de prova e resistência que mostra uma correlação positiva. Em relação ao grafeno há uma correlação um pouco mais baixa, porém positiva.

Figura 25 - Matriz de coeficiente de correlação de Pearson

Fonte: Autor, 2021.

Ao analisarmos o gráfico de dispersão na Figura 26 entre a massa de desforma e a resistência constatamos uma relação linear destas essas duas variáveis o que explicaria a correlação forte de 0,7.

Figura 26 - Gráfico de dispersão Massa Deforma x Resistência



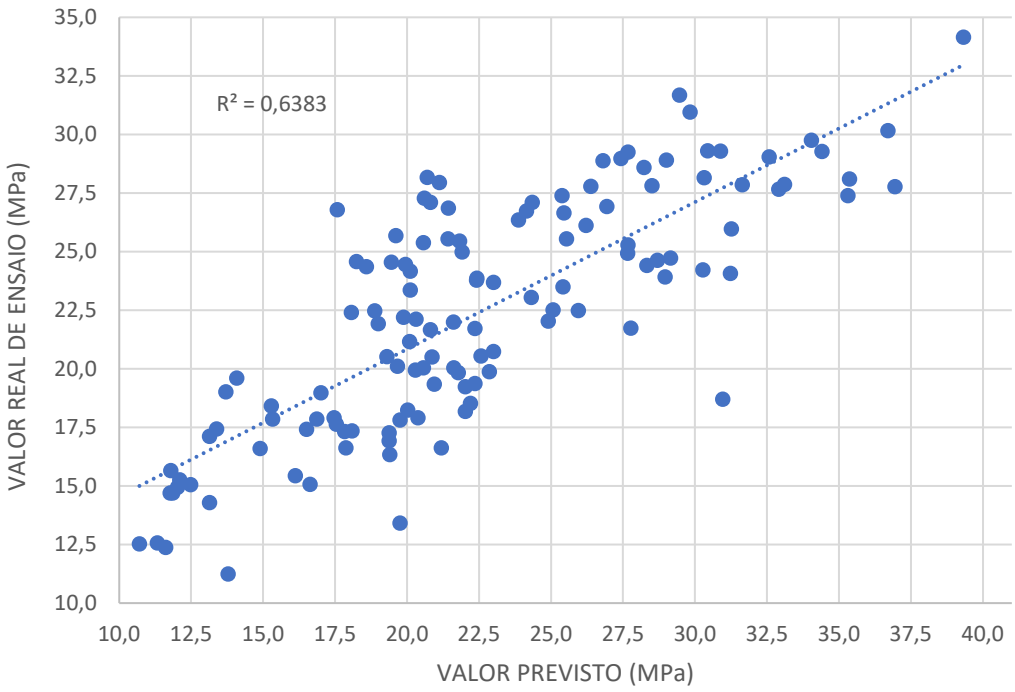
Fonte: Autor, 2021.

Com a RLM (Regressão Linear Múltipla) podemos resumir as informações através de uma equação, atribuindo valores a variáveis independentes conhecidas, temos assim a seguinte equação abaixo.

$$R = -80{,}105 + 1{,}37 * G - 18{,}48 * AC + 0{,}18 * I + 31{,}91 * MPD \quad \textbf{(7)}$$

Onde “G” representa a porcentagem de grafeno por parte de cimento, “AC” a relação água cimento, “I” a idade de ruptura do corpo de prova em dias e “MPD” a massa pós desforma do corpo de prova em quilos.

Figura 27 - Predição RLM x Resultados reais

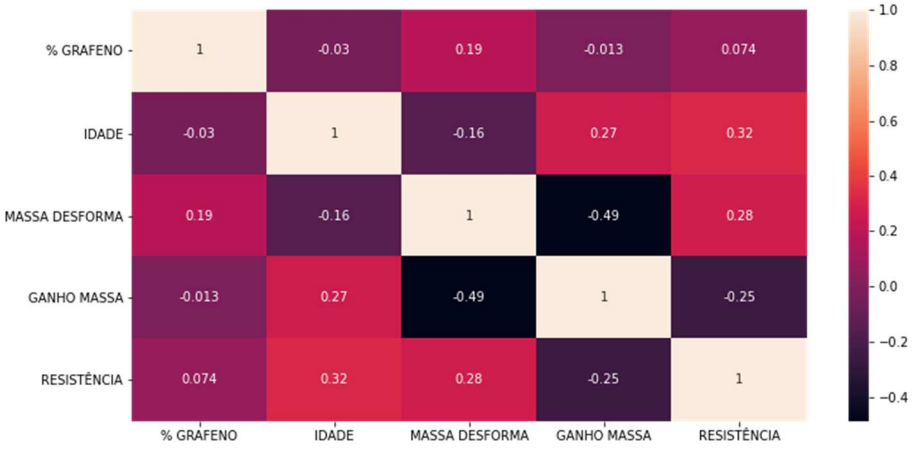


Fonte: Autor, 2021

A Figura 27 mostra o desempenho da equação onde quanto mais próximos os pontos de dispersão estiverem da diagonal central mais preciso será o modelo de predição com o escore R2 = 0,63, em geral, percebe-se uma maior dificuldade de acurácia em resultados próximos de 20 MPa.

Visto que conforme a Figura 24 percebemos um comportamento diferente do grafeno em corpos de prova com relação água cimento diferentes, decidiu se separar então os dados em dois conjuntos de dados utilizando como parâmetro separador a própria relação A/C de modo a verificar por meio do cálculo de coeficiente de Pearson se há alguma diferença quanto aos valores encontrados.

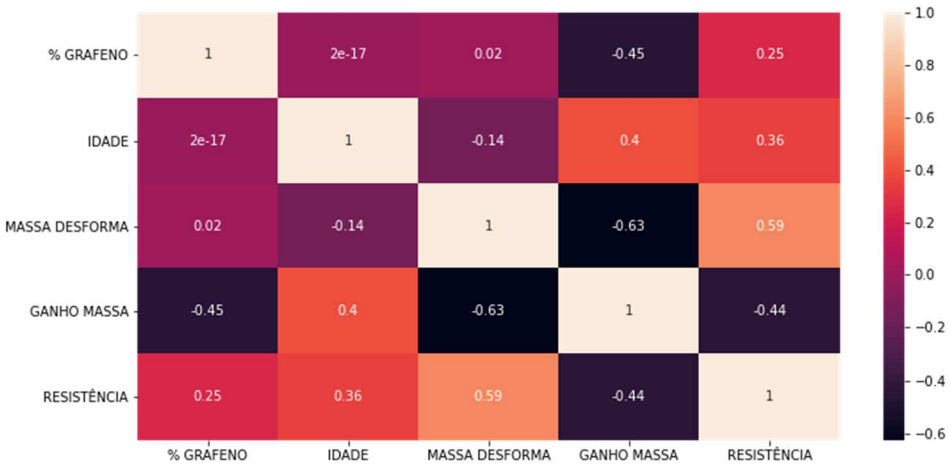
Figura 28 - Coeficiente de correlação para dados onde relação AC = 0,66



Fonte: Autor, 2021

A Figura 28 dá a percepção que para o conjunto de dados utilizados o grafeno teve um impacto quase nulo quanto a resistência do concreto assim como em relação a outras variáveis.

Figura 29 - Coeficiente de correlação para dados onde relação AC = 0,84



Fonte: Autor, 2021

Já a Figura 29 está a correlação elaborada a partir dos dados onde a relação A/C = 0,84 onde para o grafeno constatou-se o que já era possível analisar pela Figura 23, que atuou positivamente para o ganho de resistência do concreto, mas não só isso mostrou se também atuar negativamente no ganho de massa dos corpos de prova atuando indiretamente também no aumento de resistência, já que o incremento de

massa está correlacionado negativamente apresentado um valor de “-0,44” ao valor da variável resistência. Sendo necessário realizar melhores análises do que causaria esse aumento de massa e se ele estaria de certa forma prejudicando a resistência.

Uma hipótese a ser levantada seria que uma parte desse ganho de massa corresponderia ao processo de hidratação da pasta de cimento que ocorre normalmente em todos os corpos de prova e que isso seria benéfico ao concreto, e que outra parte seria a quantidade de água presente no corpo de prova através de poros e vasos capilares, pois se há mais poros logo se tem uma densidade menor que implica numa resistência menor, considerando ainda que os flocos de grafeno foram mais efetivos nos traços de relação água/cimento maior justamente por essa categoria de concreto apresentar uma densidade inferior logo uma maior porosidade.

Nos ensaios onde a porcentagem de grafeno por parte de cimento usada foi de 5% houve uma redução muito significativa na trabalhabilidade (slump= 20 mm), deixando o concreto com uma consistência seca, sendo necessário um acréscimo de água maior para obter o valor de slump desejado. Outro fator percebido foi o efeito de cisalhamento ao realizar o ensaio de abatimento, indicando que o uso em maior quantidade do composto de grafeno provoca uma perda de coesão da mistura a tornando mais áspera quando utilizado em maiores quantidades.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos ensaios realizados nesta pesquisa, foi possível obter parâmetros empíricos e estatísticos acerca do uso do composto de grafeno no concreto, tendo como objetivo a comparação de resistência, possibilitou também realizar observações visuais e estatísticas.

Com o uso da metodologia e análise dos resultados dos corpos de prova, foi verificado um aumento médio de 5 a 8 MPa na resistência dos corpos de prova aos 28 dias onde a relação água cimento foi maior, porém não ocorreu uma relação linear entre quantidade de grafeno utilizada e resistência sendo assim a melhor dosagem a qual utilizou-se 0,1% de grafeno pois alcançou-se um maior ganho de resistência utilizando uma quantidade menor do composto avaliado.

Já nos corpos de prova onde a relação água cimento foi menor houve um pequeno decréscimo na resistência, implicando numa correlação praticamente nula

entre grafeno e resistência, devendo se conduzir mais estudos de modo a verificar se houve um problema de dissolução homogênea do material em questão na mistura dos componentes do concreto.

Destaca-se ainda a influência linear dos flocos de grafeno na consistência, onde foi verificado um aumento do consumo de água diminuindo a consistência deixando a massa de concreto com aspecto seco e áspero, diminuindo a coesão e/ou provocando segregação.

Portanto, após se realizar a seguinte pesquisa, conclui-se que o grafeno pode atuar diretamente na construção civil, no sentido de melhorar ou implementar por meio do grafeno novas características aos materiais, considerando primordialmente que sejam estabelecidos meios de extração e sintetização do material que alcancem um maior custo-benefício, trazendo melhorias para a sociedade.

9 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante ao estudo realizado, é sugerido que se continue a investigação do composto de grafeno de modo a:

- Realização de ensaios de caracterização do material;
- Executar ensaios de ruptura com utilizando concreto autoadensável;
- Verificar de que forma o grafeno atua nos poros do concreto.
- Encontrar maneiras de melhor homogeneizar os flocos de grafeno na mistura;
- Realizar estudos acerca da mudança de trabalhabilidade;
- Elaboração de traços experimentais que considere o uso dos flocos de grafeno;
- Verificar se o composto de grafeno aumenta a durabilidade dos blocos;

10 REFERÊNCIAS

ABNT, NBR. 8953. Concreto para fins estruturais–Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência. **Assoc. Bras. Normas Técnicas**, v. 8, 2015.

ABNT, NBR. NBR 5739: Concreto-Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. 2007.

ALMEIDA, L. C. **Concreto.** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2002, p. 03. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/ãlmeida/au405/Concreto.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2021.

AMAZONAS GRAFENO LTDA. Disponível em: https://www.amgrafe.com.br/. Acesso em: 25 ago. 2021.

ANDOLFATO, Rodrigo Piernas. Controle tecnológico básico do concreto. **Ilha Solteira**, 2002.

ANDRADE, Jairo José de Oliveira; TUTIKIAN, Bernardo F. Resistência Mecânica do Concreto. In: (Ed.), Geraldo Cechella Isaia. **Concreto**: Ciência e Tecnologia. São Paulo: Ibracon, 2011. Cap. 17. p. 615-651.

APAZA QUISPE, Ricardo Yordan; RODRIGUEZ QUITO, Art Antony. Análisis de la influencia del grafeno como aditivo en la trabajabilidad y resistencia a la compresión del concreto, Lima-2019. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7211: Agregados para concreto-especificação**. ABNT, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Amostragens de concreto fresco. NBR NM 33. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15900-1: Água para amassamento do concreto-Parte1. Rio de Janeiro: Abnt, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto-Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto-Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. 1998

BARCELOS, Ingrid David. Crescimento de Grafeno por CVD em folhas de Cobre. 2011.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. Fundamentos do concreto armado. **Bauru: Unesp**, 2006.

BATTAGIN, A.F. Uma breve história do cimento Portland. Disponível em <http://www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/historia.shtml>. Acesso em: 11 ago. 2021.

BATTAGIN, Arnaldo Forti. Cimento Portland: 6.2.1 Generalidades. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: Ibracon, 2011. Cap. 6. p. 185232.

BERGER, Michael. GRAPHENE Explained: Properties, distinctiveness and applications. [*S. l.*], 2005-. Disponível em: https://www.nanowerk.com/what_is_graphene.php. Acesso em: 16 ago. 2021.

BORGES, Filipe Morais; CARREIRO, Tarianne Tavares. Métodos de dosagens usuais dos principais tipos de concreto: uma revisão teórica. Engenharia Civil-Pedra Branca, 2017.

BORTOLINI, Rafaela. **Concreto**: Ensaio do abatimento (Slump Test). 2012. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/eso/content/?p=956>. Acesso em: 24 set. 2021.

BOSSINK, B. A. G.; BROUWERS, H. J. H. Construction Waste: qualification and source evaluation. Journal of Construction Engineering and Management. vol. 122, n. 01, p. 55-59, mar. 1996.

CINCOTTO, M. A. Reações de Hidratação e Pozolânicas. In: Concreto: Ciência e Tecnologia. Editor: ISAIAS, G. C; p. 381–413. Cap 11. 2º ed. IBRACON. São Paulo, 2011.

COSTA, Giovani de Oliveira. GRAFENO E SUAS APLICAÇÕES NA CONSTRUÇÃO CIVIL TESTE DE BLOCO DE CONCRETO COM GRAFENO. 2019.

DE MELO RAMOS, Rayff. PRODUÇÃO DO GRAFENO A PARTIR DA GRAFITA NATURAL. HOLOS, v. 2, p. 1-12, 2021.

DE OLIVEIRA FILHO, MIGUEL LOPES. A utilização da regressão linear como ferramenta estratégica para a projeção dos custos produção. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC**. 2002.

DIMOV, D.; AMIT, I.; GORRIE, O.; BARNES, M. D.; TOWNSEND, N. J.; NEVES, A. I. S.; WITHERS, F.; RUSSO, S.; CRACIUN, M. F. Ultrahigh performance nanoengineered graphene – concrete composites for multifunctional applications. **Advanced Functional Materials**, v. 1705182, p. 1-12, 2018.

DURANTE, Rogério. Concreto–Qualidade, Classificação e Propriedades. São Paulo, CESET/UNICAMP, 2000.

FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; SILVA JÚNIOR, José Alexandre. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

FORMOSO, C. T.; JOBIM, M. S. S.; COSTA, A. L.; ROSA, F. P. Perdas de materiais na construção civil: estudo em canteiros de obras no Estado do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO

DE EDIFÍCIOS, 1998, São Paulo. **Soluções para o terceiro milênio**. São Paulo: POLI-USP, 1998. 2v. v.1, p.299-307

FOSSATTI, Emanuele Canali; BERTI, Sandra Mara. Regressão Linear Múltipla Como simplificar por meio do Excel e SPSS? André da Silva Pereira Thayane Woellner Sviercoski Manosso.

GEYER, André Luiz Bottolacci; SÁ, Rodrigo Resende de. Importância do Controle de Qualidade do Concreto no Estado Fresco. Realmix: Tecnologia em concreto, Aparecida de Goiânia- Go, v. 2, n. 2, 8 p. jul. 2006. Anual. Disponível em: <http://www.realmixconcreto.com.br/downloads/Ano2_informativo_internet.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2021.

GOLDSTEIN, H. Not your father's concrete. Civil Engineering, v. 65, n. 5, p. 60-63, 1995.

GONÇALVES, Rebeca Dourado. Propriedades estruturais e eletrônicas de nanotubos e nanofitas BxCyNz: um estudo por primeiros princípios. 2013.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. Concreto de cimento Portland. **Isaia, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. São Paulo: IBRACON**, v. 2, p. 905-944, 2007.

HELENE, Paulo; TERZIAN, Paulo. Manual de dosagem e controle de concreto. São Paulo: Pini, 1995.

ISAIA, Geraldo Cechella. A água no concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella (Ed.). Concreto: Ciência e Tecnologia. São Paulo: Ibracon, 2011. Cap. 9. p. 311-346.

JOHN, V. M. Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidiciplinar. http\:www.recycle.pcc.usp.br/artigos1.htm. 1998b.

LEITE, Mônica Batista. Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição. 2001.

LV, S. et al. Effect of GO nanosheets on shapes of cement hydration crystals and their formation process. Construction and Building Materials, v. 64, p. 231–239, 2014.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2014. 751 p.

MOORE, David S. & McCABE, George. (2004), Introduction to the practice of statistics. New York, Freeman

NASCIMENTO, J.P. Esfoliação Química do Grafite Natural em mistura de solventes orgânicos: a obtenção de grafenos de poucas camadas. Dissertação de Mestrado CDTN, 2013.

NETO, AH Castro et al. The electronic properties of graphene. Reviews of modern physics, v. 81, n. 1, p. 109, 2009.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto-5ª Edição**. Bookman Editora, 2015.
NOVOSELOV, K. S.; FALKO, V. I.; COLOMBO, L.; GELLERT, P. R.; SCHWAB, M. G.; KIM, K. A roadmap for graphene. Nature, v. 492, p. 192-200, 2012.

PAN, Z. et al. Mechanical properties and microstructure of a graphene oxide–cement composite. Cement and Concrete Composites, v. 58, p. 140–147, abr. 2015.

PASIN, João Bosco Coelho. Grafeno, inovação e direito: aspectos socioeconômicos e jurídicos (marco regulatório, propriedade intelectual e extra fiscalidade). 2018.

PHIRI, J.; GANE, P.; MALONEY, T. C. General overview of graphene: Production, properties and application in polymer composites. Materials Science and Engineering, v.215, p. 9-28, 2017.

SANTOS, Altair. Grafeno promete transformar história do concreto: Chamado de a “matéria-prima do século 21″, ele começa a ser testado em escala industrial fora do país; no Brasil, universidades intensificam pesquisas. 2013. Disponível em:

<http://www.cimentoitambe.com.br/grafeno-promete-transformar-historia-do concreto/>. Acesso em: 12 ago. 2021.

SCHIAVON, Karen Fernanda Bompan. **Estudo da aplicação de ultrassom na medição de tensões em estruturas de concreto**. 2015. 132 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Engenharia de Estruturas, Universidade de SÃo Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: <http://www.set.eesc.usp.br/static/media/producao/2015ME_KarenFernandaBompa Schiavo n.pdf>. Acesso em: 27 set. 2021.

SOIBELMAN, L. **As perdas de materiais na construção de edificações sua incidência e seu controle**. Porto Alegre, 1993. 127p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

SOUZA, Eunezio Antonio De. Mackgrafe: centro de pesquisas avançadas em grafeno e nanomateriais (grafeno: fotônica e opto-eletrônica, colaboração upm-nus). 2016.

SOLDANO, C.; MAHMOOD, A.; DUJARDIN, E. Production, properties and potential of graphene. Carbon, v. 48, n. 8, p. 2127-2150, 2010.

TÉCNICAS, ASSOCIAÇÃO BRASIEIRA DE NORMAS. NBR 12655: Concreto de cimento Portland–Preparo, controle, recebimento e aceitação–Procedimento. Rio de Janeiro, 2015.

TUTIKIAN, Bernardo F.; HELENE, Paulo. Dosagem dos concretos de cimento Portland. 2011.

VILLELA, M. Brasil ganha o primeiro centro de pesquisas em Grafeno da América Latina. 2016. Disponível em: <http://noticiasmineracao.mining.com/2016/02/25/brasil-ganha-o-primeirocentro-depesquisas-em-grafeno-da-america-latina/>. Acesso em: 14 agosto 2021.

XU, S.; LIU, J.; LI, Q. Mechanical properties and microstructure of multi-walled carbono nanotube-reinforced cement paste. Construction and Building Materials, v. 76, p. 16–23, 2015.

11 APÊNDICES

11.1 Apêndice A – Tabela com dados dos ensaios de ruptura

N° CP	% GRAFENO	RELAÇÃO A/C	DATA MOLDAGEM	DATA. DESMOLDAGEM	DATA RUPTURA	IDADE	MASSA PÓS DESFORMA (Kg)	PESO PÓS CURA (kg)	GANHO DE MASSA (%)	RESISTÊNCIA (MPa)
1	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	02/09/2021	7	3,345	3,420	2,242%	11,61
2	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	02/09/2021	7	3,350	3,432	2,448%	10,70
3	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	02/09/2021	7	3,405	3,492	2,555%	13,14
4	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	02/09/2021	7	3,429	3,451	0,642%	12,49
5	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	02/09/2021	7	3,351	3,431	2,387%	11,32
6	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	02/09/2021	7	3,418	3,473	1,609%	11,77
7	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	02/09/2021	7	3,448	3,545	2,813%	11,80
8	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	02/09/2021	7	3,418	3,504	2,516%	11,86
9	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	23/09/2021	28	3,375	3,463	2,607%	13,14
10	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	23/09/2021	28	3,385	3,478	2,747%	13,39
11	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	23/09/2021	28	3,416	3,511	2,781%	15,28
12	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	23/09/2021	28	3,359	3,448	2,650%	14,90
13	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	23/09/2021	28	3,307	3,398	2,752%	12,02
14	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	23/09/2021	28	3,453	3,556	2,983%	14,08
15	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	23/09/2021	28	3,317	3,405	2,653%	12,11
16	0,00%	0,84	25/08/2021	26/08/2021	23/09/2021	28	3,191	3,277	2,695%	13,78
17	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	03/09/2021	7	3,514	3,525	0,313%	17,47
18	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	03/09/2021	7	3,560	3,585	0,702%	22,36
19	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	03/09/2021	7	3,657	3,681	0,656%	18,88
20	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	03/09/2021	7	3,494	3,538	1,259%	19,38
21	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	03/09/2021	7	3,576	3,613	1,035%	22,86
22	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	03/09/2021	7	3,581	3,640	1,648%	21,63
23	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	03/09/2021	7	3,549	3,583	0,958%	13,71
24	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	03/09/2021	7	3,559	3,603	1,236%	20,95
25	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	24/09/2021	28	3,577	3,610	0,923%	23,00
26	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	24/09/2021	28	3,530	3,584	1,530%	19,88
27	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	24/09/2021	28	3,540	3,582	1,186%	25,07
28	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	24/09/2021	28	3,580	3,625	1,257%	22,41
29	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	24/09/2021	28	3,515	3,562	1,337%	22,36
30	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	24/09/2021	28	3,525	3,565	1,135%	24,91
31	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	24/09/2021	28	3,539	3,583	1,243%	25,95
32	0,10%	0,84	26/08/2021	27/08/2021	24/09/2021	28	3,571	3,636	1,820%	25,42
33	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	04/09/2021	7	3,356	3,408	1,549%	19,75
34	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	04/09/2021	7	3,494	3,536	1,202%	19,75
35	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	04/09/2021	7	3,466	3,503	1,068%	19,38
36	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	04/09/2021	7	3,457	3,491	0,984%	17,88
37	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	04/09/2021	7	3,497	3,540	1,230%	20,38
38	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	04/09/2021	7	3,408	3,447	1,144%	16,63
39	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	04/09/2021	7	3,448	3,485	1,073%	19,40
40	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	25/09/2021	28	3,398	3,457	1,736%	22,20
41	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	25/09/2021	28	3,460	3,529	1,994%	20,86
42	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	25/09/2021	28	3,439	3,501	1,803%	21,78
43	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	04/09/2021	7	3,457	3,506	1,417%	21,19
44	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	25/09/2021	28	3,389	3,452	1,859%	20,03
45	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	25/09/2021	28	3,420	3,485	1,901%	22,03
46	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	25/09/2021	28	3,467	3,534	1,933%	23,00
47	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	25/09/2021	28	3,461	3,531	2,023%	22,57
48	0,50%	0,84	27/08/2021	28/08/2021	25/09/2021	28	3,387	3,462	2,214%	22,03
49	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	05/09/2021	7	3,460	3,491	0,896%	16,51
50	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	05/09/2021	7	3,474	3,504	0,864%	15,33
51	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	05/09/2021	7	3,398	3,430	0,942%	16,12
52	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	05/09/2021	7	3,509	3,533	0,684%	17,01
53	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	05/09/2021	7	3,458	3,493	1,012%	18,09
54	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	05/09/2021	7	3,467	3,494	0,779%	17,54
55	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	05/09/2021	7	3,474	3,508	0,979%	16,87
56	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	05/09/2021	7	3,457	3,487	0,868%	17,83
57	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	26/09/2021	28	3,459	3,507	1,388%	20,09
58	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	26/09/2021	28	3,426	3,474	1,401%	19,67
59	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	26/09/2021	28	3,483	3,527	1,263%	19,00
60	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	26/09/2021	28	3,439	3,490	1,483%	19,30
61	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	26/09/2021	28	3,424	3,473	1,431%	20,56
62	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	26/09/2021	28	3,475	3,524	1,410%	20,81
63	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	26/09/2021	28	3,485	3,531	1,320%	21,61
64	1,00%	0,84	28/08/2021	29/08/2021	26/09/2021	28	3,421	3,471	1,462%	20,29
65	0,00%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	10/09/2021	7	3,618	3,683	1,797%	28,33
66	0,00%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	10/09/2021	7	3,575	3,640	1,818%	24,31
67	0,00%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	10/09/2021	7	3,625	3,689	1,766%	28,69
68	0,00%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	10/09/2021	7	3,439	3,488	1,425%	30,97
69	0,00%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	10/09/2021	7	3,612	3,668	1,550%	30,28

70	0%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	10/09/2021	7	3,628	3,683	1,516%	29,15
71	0%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	10/09/2021	7	3,534	3,592	1,641%	27,77
72	0%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	10/09/2021	7	3,667	3,727	1,636%	31,27
73	0%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	01/10/2021	28	3,608	3,679	1,968%	33,11
74	0%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	01/10/2021	28	3,605	3,670	1,803%	36,95
75	0%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	01/10/2021	28	3,615	3,673	1,604%	35,37
76	0%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	01/10/2021	28	3,652	3,721	1,889%	34,41
77	0%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	01/10/2021	28	3,667	3,725	1,582%	34,05
78	0%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	01/10/2021	28	3,593	3,652	1,642%	35,31
79	0%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	01/10/2021	28	3,489	3,545	1,605%	31,23
80	0%	0,66	02/09/2021	03/09/2021	01/10/2021	28	3,593	3,675	2,282%	25,38
145	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	21/09/2021	7	3,632	3,671	1,074%	21,43
146	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	21/09/2021	7	3,681	3,711	0,815%	24,35
147	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	12/10/2021	28	3,683	3,723	1,086%	29,83
148	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	12/10/2021	28	3,706	3,752	1,241%	29,47
149	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	21/09/2021	7	3,650	3,681	0,849%	26,22
150	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	12/10/2021	28	3,621	3,687	1,823%	27,43
151	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	21/09/2021	7	3,613	3,638	0,692%	27,66
152	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	21/09/2021	7	3,703	3,728	0,675%	28,51
153	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	12/10/2021	28	3,623	3,658	0,966%	32,58
154	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	21/09/2021	7	3,581	3,617	1,005%	28,97
155	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	21/09/2021	7	3,632	3,663	0,854%	25,53
156	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	12/10/2021	28	DESCARTADO POR ALTERAÇÃO NO DIÂMETRO			
157	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	21/09/2021	7	3,598	3,658	1,668%	19,94
158	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	12/10/2021	28	3,619	3,662	1,188%	29,01
159	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	12/10/2021	28	3,609	3,650	1,136%	28,23
160	0,50%	0,66	13/09/2021	14/09/2021	12/10/2021	28	3,631	3,683	1,432%	30,89
161	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	13/10/2021	28	3,556	3,625	1,940%	23,87
162	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	22/09/2021	7	3,542	3,666	3,501%	20,31
163	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	22/09/2021	7	3,612	3,668	1,550%	18,59
164	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	22/09/2021	7	3,644	3,690	1,262%	20,56
165	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	13/10/2021	28	3,528	3,601	2,069%	21,83
166	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	13/10/2021	28	3,585	3,650	1,813%	20,60
167	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	22/09/2021	7	3,606	3,670	1,775%	20,11
168	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	13/10/2021	28	3,613	3,681	1,882%	20,70
169	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	13/10/2021	28	3,535	3,598	1,782%	19,62
170	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	22/09/2021	7	3,618	3,675	1,575%	19,45
171	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	22/09/2021	7	3,688	3,746	1,573%	17,58
172	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	13/10/2021	28	3,572	3,639	1,876%	21,44
173	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	22/09/2021	7	3,619	3,672	1,464%	18,24
174	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	13/10/2021	28	3,606	3,674	1,886%	21,13
175	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	13/10/2021	28	3,568	3,632	1,794%	24,15
176	0,10%	0,66	14/09/2021	15/09/2021	22/09/2021	7	3,551	3,616	1,830%	18,07
177	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	14/10/2021	28	3,762	3,818	1,489%	39,33
178	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	14/10/2021	28	3,610	3,678	1,884%	30,44
179	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	23/09/2021	7	3,677	3,726	1,333%	32,91
180	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	14/10/2021	28	3,541	3,632	2,570%	20,81
181	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	14/10/2021	28	3,527	3,611	2,382%	25,45
182	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	23/09/2021	7	3,558	3,628	1,967%	22,42
183	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	23/09/2021	7	3,593	3,667	2,060%	21,91
184	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	14/10/2021	28	3,574	3,637	1,763%	30,32
185	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	23/09/2021	7	3,715	3,773	1,561%	26,81
186	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	23/09/2021	7	3,681	3,736	1,494%	26,38
187	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	14/10/2021	28	3,484	3,562	2,239%	27,67
188	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	23/09/2021	7	3,654	3,706	1,423%	26,94
189	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	14/10/2021	28	3,608	3,706	2,716%	27,67
190	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	23/09/2021	7	3,542	3,619	2,174%	20,11
191	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	23/09/2021	7	3,683	3,726	1,168%	31,64
192	1,00%	0,66	15/09/2021	16/09/2021	14/10/2021	28	3,637	3,770	3,657%	36,70
193	5,00%	0,66	07/10/2021	08/10/2021	15/10/2021	7	3,681	3,740	1,603%	21,23
194	5,00%	0,66	07/10/2021	08/10/2021	15/10/2021	7	3,696	3,755	1,596%	24,14
195	5,00%	0,66	07/10/2021	08/10/2021	15/10/2021	7	3,672	3,715	1,171%	20,86
196	5,00%	0,66	07/10/2021	08/10/2021	15/10/2021	7	3,609	3,675	1,829%	20,98
197	5,00%	0,66	07/10/2021	08/10/2021	05/11/2021	28	3,648	3,731	2,275%	28,59
198	5,00%	0,66	07/10/2021	08/10/2021	05/11/2021	28	3,628	3,693	1,792%	25,57
199	5,00%	0,66	07/10/2021	08/10/2021	05/11/2021	28	3,655	3,728	1,997%	24,81
200	5,00%	0,66	07/10/2021	08/10/2021	05/11/2021	28	3,670	3,721	1,390%	26,71

11.2 Apêndice B – Exemplar 0% de grafeno e relação A/C = 0,84.

11.3 Apêndice C – Exemplar 0,1% de grafeno e relação A/C = 0,84.

11.4 Apêndice D – Exemplar 0,5% de grafeno e relação A/C = 0,84.

11.5 Apêndice E – Exemplar 1% de grafeno e relação A/C = 0,84.

11.6 Apêndice F – Exemplar 0% de grafeno e relação A/C = 0,66.

11.7 Apêndice G – Exemplar 0,1% de grafeno e relação A/C = 0,66.

11.8 Apêndice H – Exemplar 0,5% de grafeno e relação A/C = 0,66.

11.9 Apêndice I – Exemplar 1% de grafeno e relação A/C = 0,66.

11.10 Apêndice J – Exemplar 5% de grafeno e relação A/C = 0,66.

12 ANEXOS

12.1 Anexo A – Parecer Técnico CTNANO UFMG

CTNANO UFMG CENTRO DE TECNOLOGIA EM NANOMATERIAIS E GRAFENO

PARECER TÉCNICO

De acordo com as análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Dispersão de Raio-X (EDS), observou-se que a amostra possui algumas características que se assemelham com materiais grafíticos, porém foi detectado a presença de outros elementos químicos como Alumínio (Al), Carbono (C), Ferro (Fe), Potássio (K), Magnésio (Mg), Oxigênio (O), Silício (Si) e Titânio (Ti), que recobrem o material, apresentando aspecto heterogêneo.

Para uma investigação mais precisa, que permita uma caracterização ampla da amostra, e que complemente este resultado preliminar, sugere-se a utilização da técnica de microscopia eletrônica de transmissão, que fornecerá informações estruturais do material, espectroscopia Raman que fornecerá informações estruturais e químicas, análise termogravimétrica (TGA), que fornecerá informações quanto à pureza do material, além de técnicas que indicarão a composição elementar da amostra como difração de raio x (DRX), que complementará às informações fornecidas pelo EDS.