

ANÁLISE DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO PARA DIFERENTES ORIGENS DOS AGREGADOS GRAÚDOS DA REGIÃO DE ANÁPOLIS/GO

Marise Nakao Vilela

*Discente, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(marisenakao12@hotmail.com)*

Ana Lúcia Carrijo Adorno

*Professora Doutora, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis
(ana.carrijo@unievangelica.edu.br)*

Rodolfo Rodrigues de Sousa Borges

Professor Especialista, Bacharelado em Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA - Centro Universitário de Anápolis (rrsb.projetos@gmail.com)

RESUMO

Esta pesquisa surgiu com o objetivo de analisar a influência do agregado graúdo de diferentes origens litológicas no concreto. Foram observadas as propriedades mecânicas que o concreto possui, como a resistência à compressão e o módulo de deformação gerado pelos ensaios. Para essa análise foram escolhidos dois tipos de agregados graúdos com diferentes origens da região de Anápolis, no estado de Goiás. Atualmente, duas grandes pedreiras distribuem agregados graúdos na cidade, cada uma com um tipo de agregado graúdo de diferentes origens. O material oferecido pela Pedreira A é de origem da rocha micaxisto, já o da Pedreira B é de origem da rocha granulito. Para a obtenção dos resultados, foram feitos experimentos de resistência de concreto nos corpos de prova produzidos com os dois tipos de agregados graúdos diferentes, para que fossem comparados em relação ao módulo de elasticidade do concreto produzido com ambos agregados graúdos. O resultado indica um desempenho da resistência que o concreto produzido irá oferecer após 28 dias. Foi estimada uma resistência de 25 MPa. O estudo foi baseado em um traço calculado para os dois tipos de brita, foram produzidos corpos de prova e analisados a resistência ao realizar seus rompimentos.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto, resistência à compressão, análise da deformação.

1 INTRODUÇÃO

O concreto é um dos materiais mais importantes numa construção civil, mesmo que utilizados outros materiais, o concreto ainda sim continua fazendo parte da construção, pelo menos na parte da fabricação das fundações. Surgiu com o propósito de poder ser moldado até atingir o formato e a dimensão desejados.

Um de seus elementos é o agregado. Os agregados são fragmentos de rochas, materiais granulados, naturais ou artificiais, de tamanhos e formatos indefinidos. Porém cada um com seu tamanho adequado em algum uso na construção. Estes são popularmente chamados de “brita” e “areia” e tem suas características e propriedades físicas conforme a necessidade da preparação do concreto.

Segundo Alhadad (2008), o agregado influencia em muitas características do concreto, são elas porosidade, composição granulométrica, absorção d'água, estabilidade, forma e textura dos grãos, resistência mecânica e módulo de deformação.

O agregado possui uma curva granulométrica que varia e que podem ser procedentes dos locais que foram retirados. Isso implica que o material de jazidas diferentes podem fazer diferença na preparação do concreto.

Para o engenheiro começar a construção de sua obra, é de suma importância ter o conhecimento de uma estrutura de concreto, o peso, a forma, as posições e suas deformações. Para isso, são feitos inúmeros experimentos relacionados ao concreto. Como por exemplo testes relacionados à compressão, à tração e à abrasão. Ao realizar ensaio de compressão no concreto, verifica-se seu módulo de elasticidade.

O módulo de elasticidade do concreto é uma propriedade que envolve ensaios em laboratório e é analisado geralmente na fase de água/cimento. Estes ensaios, geralmente, são executados com a finalidade de verificar a qualidade, atender as especificações, conhecer suas propriedades de deformação, sua fluência e outros estados limites de serviço.

De acordo com a NBR 8522 (ABNT, 1984), o módulo de elasticidade é obtido através de ensaios de compressão dos corpos-de-prova, que irão resultar em uma relação de tensão aplicada e deformação resultante desse ensaio. Além disso, resultará em uma curva, chamada tensão-deformação, que, para obtenção de um valor exato do módulo de elasticidade, pode-se haver uma complexidade, pelo fato desta curva não possuir uma forma linear. Os valores serão praticamente aproximados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

2.1.1 Determinação da resistência

A resistência está relacionada a máxima tensão que irá causar rompimento no concreto. Mesmo não sendo observadas rupturas externas, esse concreto submetido à máxima tensão, sofre fissurações internas (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

Almeida (2012) define resistência à compressão do concreto como a tensão aplicada em um corpo-de-prova que provocará ruptura neste concreto e nos materiais que o compõem. Este ensaio mostra também a relação tensão-deformação que o concreto atinge. Os concretos são caracterizados a partir de grupos de resistência característica à compressão (f_{ck}), expressa em Mega Pascal (MPa).

2.1.2 Fatores que influenciam na resistência à compressão

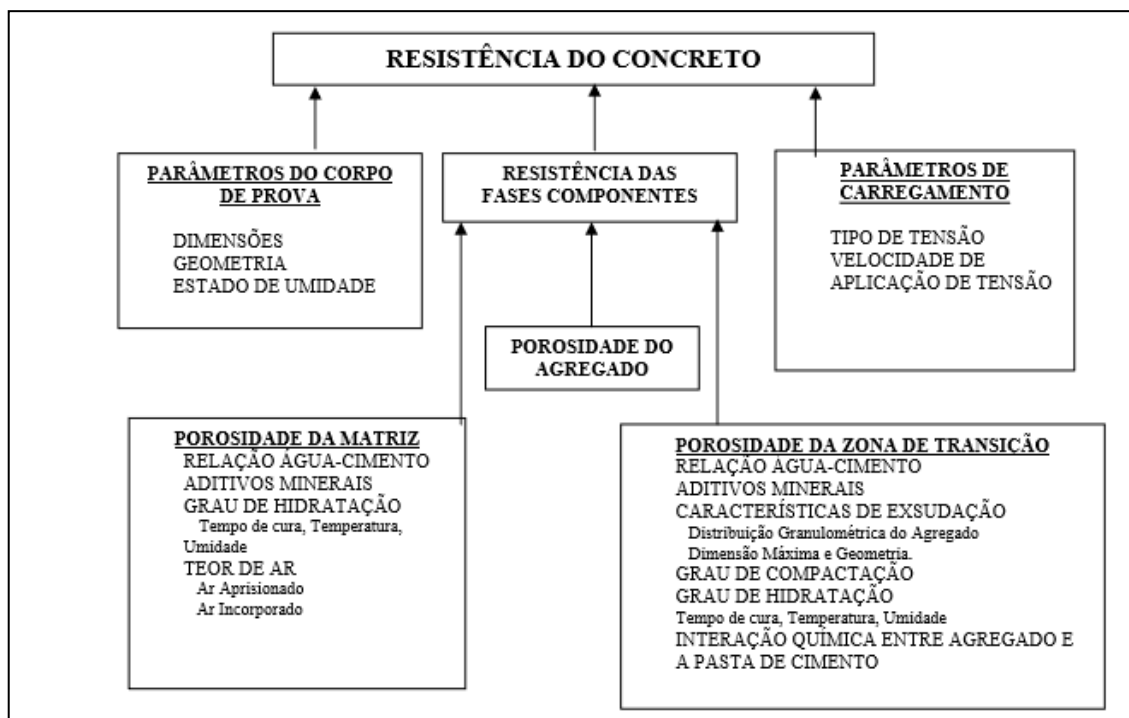
De acordo com Mehta e Monteiro (2008), há fatores internos e externos que influenciam, na resistência à compressão do concreto.

Alhadas (2008) esquematiza os principais influenciadores para mudança do valor da resistência do concreto:

1. Características e proporções dos materiais constituintes
 - Relação água-cimento
 - Finura e tipo de cimento
 - Forma, textura, dimensão máxima do agregado
 - Natureza do agregado graúdo
 - Granulometria do agregado
 - Aditivos químicos
 - Adições minerais
 - Relação agregado – cimento
2. Condições de cura
 - Duração
 - Umidade do ambiente de cura
 - Temperatura de cura
 - Parâmetros de ensaio
 - Dimensões do corpo de prova
 - Capeamento dos corpos de prova
 - Umidade do corpo de prova
 - Temperatura de ensaio e velocidade de carregamento.

A figura 1 detalha os fatores que influenciam na compressão do concreto.

Figura 1 – Fatores que influenciam na resistência à compressão do concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (1993)

2.1.2.1 Relação água-cimento

De acordo com Leal (2012) a relação água-cimento e a resistência da pasta de cimento é conhecida como Lei de Abrams, que diz que com o aumento da porosidade na relação água-cimento, diminui a resistência do concreto analisado.

2.1.2.2 Porosidade

Segundo Mehta e Monteiro (2014, apud KUMMER, 2016), a porosidade ou o ar que foi incorporado no concreto, pode estar relacionado à resistência do concreto. O alto índice de porosidade, pode ocasionar em diminuição da resistência no concreto.

2.1.2.3 Natureza do agregado

De acordo com Isaia et al. (2011), a Terra é dividida em camadas. Na camada crosta é encontrado minerais que são usados na construção civil. Esses minerais são classificados de acordo com sua gênese em rochas ígneas ou magmáticas, provenientes do esfriamento do magma; as rochas sedimentares, provenientes de outros tipos de rochas tanto físico como quimicamente; e as rochas metamórficas, oriundas de rochas que sofreram mudança de temperatura e pressão.

2.1.2.3.1 Definição e classificação

Para Neto et al. (2011) o concreto é um material granular, sem forma ou volume definidos, porém com dimensões e propriedades adequadas para fabricação do concreto e argamassas. Podendo ser naturais ou artificiais.

2.1.2.3.2 Classificação quanto a dimensão

De acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2005), ao realizar os procedimentos da NBR 248 (2003), o agregado que passa pela peneira de malha de 152mm e mantido em peneira de malha de 4,75mm, é classificado como agregado graúdo. Já o agregado que passa pela peneira de malha de 4,75mm e mantido na peneira de malha de 0,075mm são classificados como agregado miúdo.

2.1.2.3.3 Forma, textura e dimensão do agregado para o concreto

Para Neville (1997), o agregado, de uma mesma origem mineralógica, com uma superfície lisa, não apresenta uma boa resistência. Já o agregado com uma superfície áspera, mostra ter um aumento na resistência ao ser comprimido. Isso significa que a forma e a superfície do agregado tem influência na resistência do concreto.

2.1.2.4 Cura

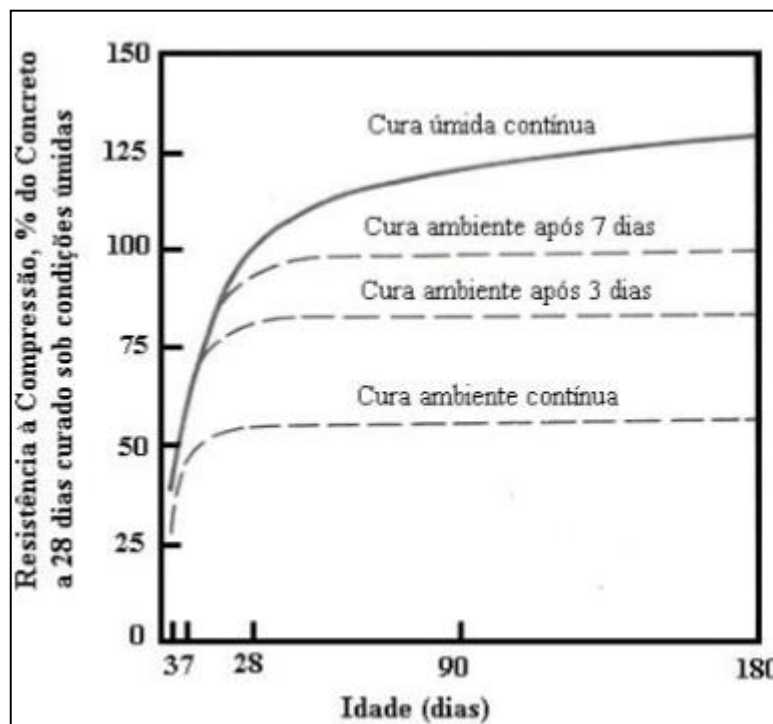
Segundo Nunes (2005), cura são padrões tomados com o objetivo de não perder água do concreto durante seu processo de hidratação. Isso engloba vários fatores que influenciam na cura e também na resistência desse concreto, tais como a temperatura, o tempo de cura e a umidade.

Para Kummer (2016), a temperatura, no período da cura, tem grande influência no resultado da resistência final do concreto, para que o cimento seja hidratado de uma forma

correta. Quanto maior o tempo de cura e quanto mais úmido o ambiente estiver, melhor será a resistência desse concreto.

Evangelista (2002) realizou um experimento em concretos submetidos a dois tipos de cura: úmida por 2 dias antes da idade do ensaio e úmida por 7 dias, e depois disso em laboratórios. Nesses experimentos ele observou que, como a hidratação dos corpos-de-prova foi mais intensa, a resistência à compressão dos corpos foram valores próximos, como mostrado na figura 2, pois ficaram imersos em água.

Figura 2 - Influência do tipo e do tempo de cura sobre a resistência do concreto



Fonte: Mehta e Monteiro (1993)

2.1.2.5 Medidas para o ensaio

De acordo com a NBR 5739 (ABNT, 2007), os corpos-de-prova devem apresentar a relação altura/diâmetro dentro da faixa de 1,94 a 2,02, nunca sendo maior e nem menor do que esses valores.

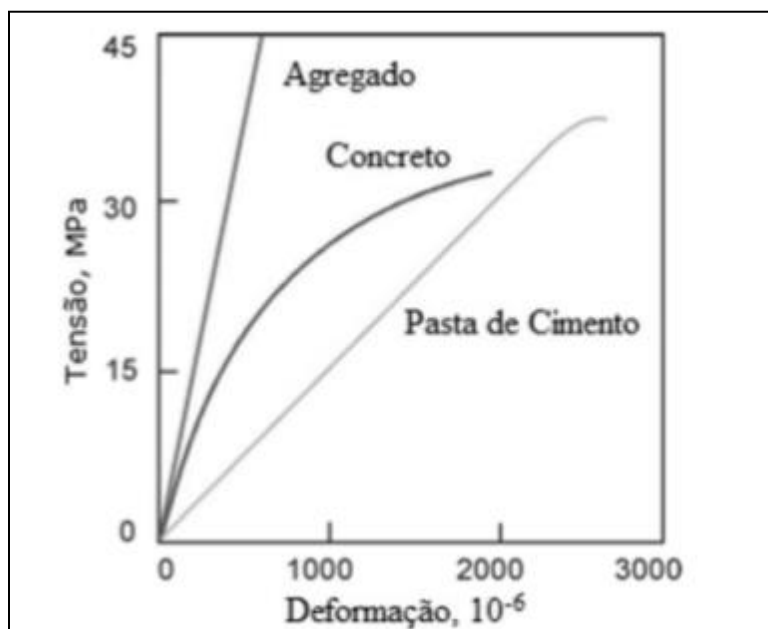
De acordo com a NBR 5738 (ABNT, 2015), os corpos-de-prova moldados em cilindros, devem ter altura igual ao dobro do diâmetro desse molde. E esses diâmetros devem ser de 10cm, 15cm, 20cm, 25cm, 30cm ou 45cm. A norma pede também que seja observado se caso haja frestas ou geratrizes abertas no molde, pois se houver, este molde, com as frestas, não seria o apropriado para o teste pelo fato de poder ocasionar problemas futuros com a utilização desse concreto.

2.2 MÓDULO DE ELASTICIDADE

O módulo de elasticidade é uma propriedade mecânica do concreto que é obtida através de cálculos de deformação e tensão do concreto, e podendo assim caracterizar a rigidez desse concreto. Em um projeto estrutural, onde é conhecido o valor do módulo de elasticidade do concreto, pode ser evitadas deformações que com o passar do tempo poderiam se tornar fissuras (ALMEIDA e HANAI, 2008).

A variação do módulo de elasticidade, como mostrado na figura 3, se dá tanto pelo comportamento da curva do agregado graúdo e quanto pelo comportamento da curva formada pela pasta de cimento no diagrama de tensão-deformação. Tais curvas, são quase lineares. Já a curva do concreto, por sua vez, apresenta um comportamento não-linear (ALHADAS, 2008). De acordo com Neville (1997), a curva do concreto possui esse comportamento por haver vazios entre o agregado e a pasta de cimento, chamados de microfissuras.

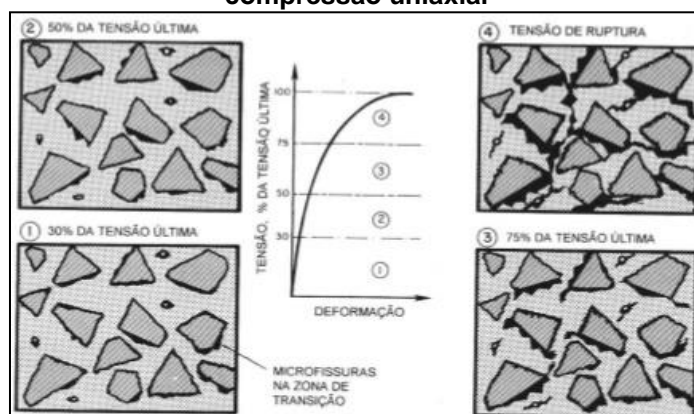
Figura 3 - Comportamento típico da curva tensão-deformação para o concreto e seus principais componentes



Fonte: Otani e Pereira (2017); Mehta e Monteiro (2008)

Mehta e Monteiro (2008) e Neville (1997) explicam na figura 4 que desde antes do concreto receber uma carga uniaxial, entre o agregado graúdo e a pasta de cimento, existem as microfissuras, existem mesmo sendo pequenas. Com o aumento da força, essas microfissuras vão aumentando e conseqüentemente a curva deixa de ser uma linha reta e começa a desviar. Pode ser observado na figura 10 que até a fase onde é aplicado 30% da tensão última a curva é linear e com o aumento da tensão, a curva começa a adquirir seu comportamento não-linear.

Figura 4 - Representação esquemática do comportamento tensão-deformação do concreto sob compressão uniaxial



Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

2.2.1 Determinação do módulo de elasticidade

Existem formas empíricas e teóricas para determinar o módulo de elasticidade do concreto. A forma teórica é menos utilizada pelo fato de seus resultados não serem adequados. Então são usadas as formas empíricas que através de expressões são alcançados resultados mais confiáveis (NUNES, 2005).

Sendo essas expressões em função da resistência à compressão desta mesma grandeza e da massa específica ou do tipo de agregado do concreto. Essas expressões são do tipo (αf_c^β) , onde geralmente β igual a 1/2 ou 1/3, porém outras fórmulas e valores para β foram propostas na figura 5.

Figura 5 - Expressões para determinar o módulo de elasticidade (E_c s e f_{ck} , em MPa)

Autor	Expressões	Observações
NBR 6118 (2003)	$E_{cj} = 5600\sqrt{f_{ck}}$	E_c = módulo tangente $j \geq 7$ dias $15 \text{ MPa} \leq f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$
EUROCODE	$E_c = 9500^2\sqrt{f_{cm}}$	E_c = módulo secante para $0,40f_{ck}$ f_{ck} entre 12 MPa e 90 MPa $f_{cm} = f_{ck} + 8$
ACI 318 (1999)	$EC = 4730\sqrt{f_{cj}}$	E_c = módulo secante para $0,45f_c$
CEB FIP MODE CODE 90	$E_c = \alpha e . 21500 \sqrt{\frac{(f_{ck} + 8)}{10}}$	E_c = módulo tangente na idade de 28 dias αe é função do tipo de agregado $0,8 < \alpha e < 1,2$ $12 \text{ MPa} < f_{ck} < 80 \text{ MPa}$

Fonte: Alhadadas (2008).

2.2.2 Fatores que influenciam o módulo de elasticidade

Para Xavier Junior *et al.* (2016), o valor do módulo de elasticidade do concreto, é um dos parâmetros mais importantes do estudo de uma estrutura de concreto. A relação água-cimento e o agregado graúdo são os componentes de maior importância, principalmente o agregado graúdo, pois o valor do módulo de elasticidade interfere no comportamento do concreto.

O tamanho, espessura, origem, fração volumétrica, umidade, porosidade e mais algumas características do agregado graúdo influencia no resultado do módulo de elasticidade.

Outros aspectos como a fração volumétrica, o módulo de deformação e a massa específica de cada componente do concreto e a parte da zona de transição, são algumas outras características que também influenciam no comportamento elástico do concreto (BARBOSA, 2009).

2.2.2.1 Relação água-cimento

A relação água-cimento está diretamente relacionado com a pasta de cimento e a porosidade, que assim como na resistência à compressão, se aumentada o valor do módulo de elasticidade do concreto tende a diminuir (SILVA, 2003).

Segundo Nunes (2005), a qualidade da água interfere, também, no tempo de pega do cimento e na resistência do concreto a ser produzido. E para determinar qual a melhor água a ser utilizada, não existe um melhor método, mas sim fazendo ensaios analisando o tempo de pega.

2.2.2.2 Agregado graúdo e suas dimensões

Tratando-se da natureza do agregado, o ponto principal dos autores é estudar diferentes tipos de rochas com diferentes origens litológicas, cabíveis ao se produzir concreto com uma boa resistência e um bom módulo de elasticidade. Observam assim as características que se adequam quanto a porosidade, textura e o módulo do agregado, que são fatores que com a mudam o resultado final (NUNES, 2005).

Na região da cidade de Anápolis, o agregado graúdo mais utilizado na construção civil é o chamado micaxisto, pois é facilmente encontrado e em grande quantidade na região e também por ser de baixo custo.

Para Mehta e Monteiro (2008), o aumento da dimensão do agregado graúdo diminui a zona de transição, fazendo que os espaços vazios sejam menores e com isso aumenta o valor do módulo de elasticidade do concreto. Porém alguns outros autores não estão de acordo com essa afirmação. Pereira Neto e Djanikian (1996) mostraram que com o aumento do agregado graúdo nem sempre o valor do módulo de deformação será aumentado.

2.2.2.3 Porosidade e módulo de elasticidade do agregado graúdo

Barbosa (2009) define a porosidade do agregado graúdo como sendo a relação do volume total de vazios e o volume absoluto de sólidos. A porosidade do agregado determina sua rigidez que, com isso, controla a capacidade de não haver deformações na pasta de cimento. A porosidade afeta também na resistência à compressão, na resistência a abrasão e no módulo de elasticidade do concreto por serem de propriedades inter-relacionadas.

2.2.2.4 Cura

Dal Molin (2005 *apud* SILVEIRA, 2000), observou que ao ensaiar a cura úmida do concreto em um laboratório, houve um a redução do módulo de deformação do concreto com o passar da idade, sem interferência da resistência do concreto e nem do teor de adição.

2.2.2.5 Medidas para o ensaio

Para o módulo de elasticidade são adotadas as mesmas medidas de ensaio dos ensaios de resistência à compressão.

3 CARACTERIZAÇÃO E ESCOLHA DOS MATERIAIS EMPREGADOS NO ENSAIO EXPERIMENTAL

3.1 MICAXISTO

Micaxisto é um exemplo de rocha metamórfica caracterizado por apresentar cristais visíveis e com bastante brilho em maior quantidade que outros tipos de agregados, também por ser minerais achatados ou alongados. Em análise detalhada, estudos mostram que as rochas possuem suas composições químicas, pouco semelhantes umas às outras. No micaxisto existe uma porcentagem de SiO₂ (dióxido de sílica) na sua composição e de acordo com CLEMENTE (2004), essa porcentagem é aproximadamente 65% de SiO₂. Esse valor caracteriza a rocha como uma rocha

metamórfica ácida. Na região de Anápolis, a Pedreira A é uma fornecedora de agregado graúdo de origem de rochas filito, a rocha micaxisto. Isso porque é produzido em grande quantidade e por ter um preço acessível.

Figura 6: Micaxisto



Fonte: Autores.

3.2 GRANULITO

O granulito se origina das rochas quartzo, feldspato e mica. Possui uma textura cristalina com cristalinóis que podem ser vistos a olho nu, como o micaxisto. A microestrutura do granulito também é muito parecida com o micaxisto. A decomposição do granulito forma um solo areno-siltoso, basicamente quartzo e argila. Uma característica do agregado granulito é a sua forma angular. Essa sua característica, faz com que antes de ser usada, devem passar por um processo a mais, o de britagem. Essa característica, angular, do granulito faz com que o agregado graúdo fique mais difícil de rolar e o concreto necessite de maior quantidade de argamassa na dosagem. Na região de Anápolis, esse agregado é menos utilizado por esse motivo, de ter que produzir maior quantidade de argamassa e, conseqüentemente, a dosagem do concreto ficar mais caro.

Figura 7: Granulito



Fonte: Autores.

3.3 DOSAGEM E APARELHAGEM

Foi realizado um estudo experimental com o objetivo de analisar o módulo de elasticidade do concreto, produzido com agregados graúdos de diferentes origens mineralógicas. Para esse estudo foram utilizados os agregados graúdos micaxisto e granulito, os mais usados na cidade de Anápolis, Goiás. A preparação e o rompimento dos corpos-de-prova foram especificados de acordo com a NBR 5738 e a NBR 5739, respectivamente.

Para realizar o preparo dos corpos-de-prova, foram utilizados alguns materiais, que serão apresentados a seguir. Foram usados também os moldes de corpos de prova do tamanho de 10x20 cm que foram preenchidos com o concreto produzido para realização do processo de compressão do concreto. A caracterização dos materiais, a dosagem e o método usado também serão detalhados.

3.3.1 Cimento

O cimento utilizado na produção dos dois tipos de concreto foi o CP II-F-32, bastante utilizado na cidade de Anápolis e é fabricado pela empresa Votorantim, da marca Tocantins. A escolha desse cimento se deu pelo grande uso na cidade, por ter preço acessível e pelo seu bom desempenho nas obras, no processo de cura por exemplo. É classificado também, pela empresa, por ser um cimento de secagem ultra rápida e ser ultraresistente.

Na figura 8 é mostrado as características, composição e a norma NBR 16697 (2018) que é fabricado o cimento utilizado.

Figura 8: Características do cimento Tocantins



Fonte: Autores.

3.3.2 Agregado miúdo

Para a produção dos corpos-de-prova de concreto foi utilizado areia de origem de rio, para evitar o uso de qualquer tipo de acelerador nas reações químicas do concreto.

3.3.3 Agregado graúdo

Para este estudo foram escolhidos dois tipos de agregados graúdos, micaxisto e granulito.

3.3.4 Água

A água utilizada na produção dos dois tipos de concreto foi a fornecida pela rede pública que abastece a cidade de Anápolis, Companhia de Sanemaneto de Goiás (SANEAGO). Apresentando-se dentro dos limites exigidos por normas de potabilidade.

4 ENSAIOS E RESULTADO

4.1 DOSAGEM DO CONCRETO

A dosagem do concreto é de suma importância para que o concreto atinja a resistência desejada. Foi usado o método ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) para realizar o cálculo de dosagem respeitando as limitações e as variáveis de dosagem. O método ABCP foi adaptado do método da ACI (American Concrete Institute) para os agregados brasileiros. Os ensaios e os materiais determinados pela NBR 6118 – Projetos e execução de obras de concreto armado. Para a cidade de Anápolis, a agressividade ambiental corresponde a classe II, por ser uma cidade urbana e também o concreto armado deve atingir um f_{ck} acima de 25 MPa.

De acordo com o método ABCP, o cálculo bem elaborado da dosagem tem algumas qualidades positivas como: melhor trabalhabilidade, resistência físico-mecânica, permeabilidade, condições de exposição e economia nos custos. Este método serve para concretos de consistência plástica a fuida.

As características do agregado é o abatimento, que resultou em 80 mm, a dimensão máxima de 9,5 mm e com isso a relação de a/c foi de 0,47. O consumo de água foi de 225 L/m³ e o consumo de cimento foi de 479 kg/m³.

Para calcular o consumo de brita 0 foi usado o módulo de finura de 2,23 e com dimensão máxima de 9,5 mm, foi encontrado um volume de brita igual a 0,605 m³/m³. Através da NBR 7251 (1982), no laboratório da Unievangélica foi realizado um experimento para achar a massa unitária dos dois tipos de brita que foram igual a 1530 kg/m³. Logo então, calculado e achado o consumo de brita 0, igual a 925,65 kg/m³.

Com o consumo de água, consumo de brita e o consumo de cimento já calculados, foi feito o cálculo para achar o consumo da areia. O volume de areia foi igual a 0,27 m³/m³. A massa unitária da areia foi fornecida pelo laboratório, igual a 2540 kg/m³. E então o consumo de areia igual a 685,8 kg/m³.

O traço final foi: 1 : 1,43 : 1,93 : 0,47

4.2 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para a produção do concreto, a partir do traço que foi detalhado, foi utilizado uma betoneira de 250 litros e as formas para acondicionar o concreto produzido, de acordo com as exigências da NBR 5738 (1994). O método de adensamento usado foi o de socamento com uma haste metálica por ser mais acessível nas obras de construção da cidade de Anápolis. Este método tem como objetivo diminuir a porosidade do concreto diminuindo assim o ar aprisionado.

Todos os corpos de prova possuíam a mesma medida, 10x20cm, conforme as exigências da NBR 5738 (1994) que como o objetivo do trabalho seria a análise do módulo da elasticidade do concreto com os diferentes agregados, assim então seria obtido resultados com menor variação no desvio padrão dos valores.

Após 24 horas da produção do concreto, estes corpos de prova foram retirados das formas e armazenados em uma câmara úmida, como mostrado na figura 21, até as idades de 3, 7 e 28 dias.

Figura 9: Corpos de prova na fase de cura na câmara úmida



Fonte: Autores.

Figura 10: Prensa rompendo um dos corpos de prova com agregado graúdo da Pedreira B



Fonte: Autores.

Ao finalizar os experimentos em laboratório, foram analisados os resultados junto às expressões da NBR 6118 (2003), a EUROCODE 2 (1990) e a ACI 318 (1999). Com os valores das resistência aos 28 dias, foi feita uma média aritmética entre os 3 corpos de prova produzidos e comprimidos, e obteve-se os seguintes resultados da tabela 1:

Tabela 1: Média aritmética das resistências

Tipo de agregado	Média das resistências obtidas
Granulito	32 MPa
Micaxisto	29 MPa

Fonte: Autores.

4.3 RESULTADO PELA NBR 6118 (2003)

Foi calculado o módulo de elasticidade do concreto com idade de 28 dias através da equação da NBR 6118 (2003).

$$E_{cj} = 5600\sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

Onde:

$j=28$ dias

f_{ck} = cálculo da média das resistências aos 28 dias

Os valores da tabela 2, foram encontrados definindo o módulo de elasticidade aos 28 dias. É observado que o agregado graúdo granulito, obteve o maior valor.

Tabela 2: Módulo de elasticidade do concreto pela NBR 6118

Tipo de agregado	Módulo de Elasticidade
Granulito	$E_{cj} = 5600\sqrt{32} = 31,678 \text{ GPa}$
Micaxisto	$E_{cj} = 5600\sqrt{29} = 30,156 \text{ GPa}$

Fonte: Autores.

4.4 RESULTADO PELA EUROCODE 2 (1990)

Foi realizado também cálculos com a equação definida para módulo de elasticidade da EUROCODE 2 (1990).

$$E_c = 9500\sqrt[3]{f_{cm}} \quad (2)$$

Onde:

$f_{cm} = f_{ck}+8$

Na tabela 3, é detalhado o módulo de elasticidade e verificado que o agregado graúdo granulito também alcançou um valor maior que o micaxisto.

Tabela 3: Módulo de elasticidade do concreto pela EUROCODE 2

Tipo de agregado	f_{cm}	Módulo de Elasticidade
Granulito	40 MPa	$E_c = 9500\sqrt[3]{40} = 32,49 \text{ GPa}$
Micaxisto	37 MPa	$E_c = 9500\sqrt[3]{37} = 31,65 \text{ GPa}$

Fonte: Autores.

4.5 RESULTADO PELA ACI 318 (1999) – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE

Com a equação já calculada pelo Instituto Americano de Concreto (ACI), foi obtido o resultado do módulo de elasticidade do concreto produzido com granulito e com micaxisto, mostrados na tabela 4. O valor do módulo de elasticidade encontrado para o granulito foi maior que o micaxisto.

$$E_c = 4730\sqrt{f_{cj}} \quad (3)$$

Onde: f_{cj} = é o valor do f_{ck} em j dias.

No caso deste trabalho, o valor do f_{cj} é igual ao f_{ck} aos 28 dias de idade do concreto.

Tabela 4: Módulo de elasticidade do concreto pela ACI 318

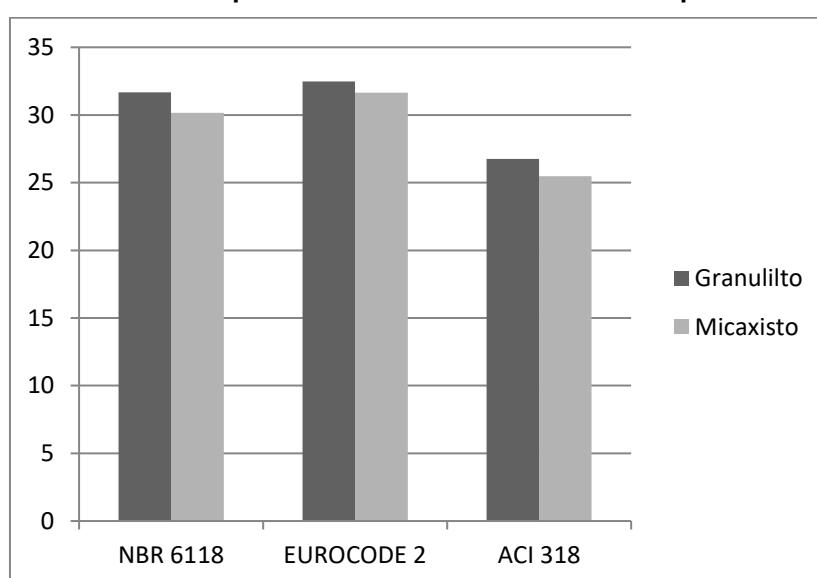
Tipo de agregado	<i>fck aos 28 dias</i>	Módulo de Elasticidade
Granulito	32 MPa	$E_c = 4730\sqrt{32} = 26,75 \text{ GPa}$
Micaxisto	29 MPa	$E_c = 4730\sqrt{29} = 25,47 \text{ GPa}$

Fonte: Autores.

Estes foram os resultados obtidos a partir de ensaios de resistência à compressão de corpos de prova de concreto possuindo diferentes tipos de agregados graúdos originados na região do estado de Goiás, mais especificamente os mais usados na cidade de Anápolis, usando as expressões já existentes de algumas normas.

Com o cálculo das expressões de módulo de elasticidade, foram obtidos os seguintes resultados apresentados no gráfico 1 a seguir:

Gráfico 1: Comparativo entre os resultados das expressões



Fonte: Autores.

Como o objetivo foi realizar experimentos e analisar os módulos de elasticidade do concreto comparando os resultados, foi produzido o gráfico 7 para melhor verificação. O concreto produzido com granulito nos 3 casos teve maior valor, não sendo muito a diferença entre os valores, mas caracterizando assim o concreto menos flexível que o concreto produzido com o micaxisto.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O módulo de elasticidade e a resistência são duas das principais características do concreto. Procurou-se abranger duas grandes pedreiras que têm significativas parcelas no mercado da região de Anápolis, Goiás, a Pedreira A e a Pedreira B.

Baseado nos ensaios e nos experimentos realizados, conclui-se que no caso da NBR 6118 o concreto produzido com granulito obteve o módulo de elasticidade 4,8% maior que o produzido com micaxisto. Pela EUROCODE 2 a porcentagem de diferença foi apenas de 2,58% e pela ACI 318 foi apenas de 4,78%. Com essas porcentagens pode-se perceber que o grau de diferença entre os módulos de elasticidade é bem mínimo. Mas como o granulito obteve maiores valores, faz-se então ser menos utilizado na região de

Goiás, tanto pela sua forma angular, e agora quanto seu valor do módulo de elasticidade no concreto.

Alcançou-se o objetivo deste trabalho, produzir o concreto com os diferentes agregados e obter a resistência maior que 25 MPa aos 28 dias, realizar o processo de compressão simples e conhecer e analisar os módulos de elasticidade após o processo de compressão fazendo os cálculos através de expressões normativas já existentes.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738. **Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 1994 e 2015.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739. **Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1994.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118. **Projeto e execução de obras de concreto armado**. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211. **Agregado para concreto - Especificações**. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8522. **Concreto – Determinação do módulo de elasticidade à compressão**. São Paulo, 2007.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NM 248. **Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.
- ACI 318 R-99 – AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (1999). **Committee 318 – Building Code Requirements For Structural Concrete And Commentary**. Farmington Hills, 1999.
- ALHADAS, M. F. S. **Estudo da influência do agregado graúdo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2008.
- ALMEIDA, S. F.; HANAI, J. B. **Análise dinâmica da rigidez de elementos de concreto submetidos à danificação progressiva até a ruptura**. Caderno de Engenharia de Estruturas, Volume 10, p. 49-66, São Carlos, 2008.
- ALMEIDA, S. M. **Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto de cimento Portland através de ensaios de compressão simples e de frequência ressonante**. Dissertação (Pós-Graduação), UGMG, Belo Horizonte, 2012.
- BARBOSA, I. L. S. **Influência dos agregados graúdos da região de Goiânia no módulo de deformação tangente inicial do concreto**. Dissertação (Mestrado). Goiânia-GO, 2009.

CLEMENTE, CELSO A. **Curso de especialização em gerenciamento ambiental.** Piracicaba, 2004.

DAL MOLIN, D. C. C. **Adição minerais para concreto estrutural.** Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações – IBRACON. São Paulo, 2005.

EC 2 – EUROCODE 2. (English) **Design of concrete structures.** [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC], 1990.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaios Não Destrutivos.** Tese de Doutorado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** Editado. 2ª Ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

KUMMER, L. M. **Resistência à compressão e módulo de elasticidade dos concretos de uma central dosadora de concreto de Lajeado/RS.** Monografia. Lajeado – RS, 2016.

LEAL, A. C. F. De S. **Investigação experimental do módulo de elasticidade nos concretos produzidos em Brasília.** Distrito Federal, 2012.

MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais.** 1ª Ed. São Paulo: PINI, 1994.

MEHTA P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto.** Tradução Salvador E. Giammusso. 2ª Ed. São Paulo: PINI, 1997.

NUNES, F. W. G. **Avaliação da resistência e do módulo de elasticidade de concretos usados no Rio de Janeiro.** Tese (Pós-Graduação), UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2005.

PEREIRA NETO, P. M., DJANIKIAN, J. G. **A influência do Tipo de Agregado e da Dimensão Máxima Característica nos Módulos de Elasticidade do Concreto de Alto Desempenho.** Revista IBRACON nº 12. São Paulo – SP, 1996.

SILVA, K. J. Da. **Estudo do comportamento do módulo de deformação de concretos, com um ano de idade, produzidos com diferentes tipos de agregados graúdos.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Goiânia, 2003.

SILVEIRA, R. L. **Concreto de alto desempenho: Propriedades mecânicas e durabilidade.** Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, 2000.

XAVIER JUNIOR, J. E.; SEELBACH, L. C.; ROHDEN, A. B. **Influência do módulo de elasticidade do concreto produzido com diferentes tipo de agregados no projeto estrutural de um edifício de 30 pavimentos de acordo com a norma ABNT NBR 6118**

– **Estudo de Caso.** Anais do 58º Congresso Brasileiro do Concreto, Belo Horizonte-MG, Outubro 2016.