

ESTUDO DO FATOR DE CORREÇÃO (α_E) PARA O SEIXO ROLADO NA FORMULAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO

Khádia Fernanda Queiroz Rodrigues – khadia-queiroz@hotmail.com
Universidade Federal do Pará
Rua Augusto Corrêa, Guamá *
66075-110 – Belém – Pará

Haniel Bruno Santos Moura – haniel_moura@hotmail.com
Faculdade Estácio de Belém
Av. Governador José Malcher, 1148
66055-260 – Belém – Pará

Bruno Norat Jorge – bruno.jorge@estacio.br
Faculdade Estácio de Belém
Av. Governador José Malcher, 1148
66055-260 – Belém – Pará

Resumo: A formulação para o cálculo do módulo de elasticidade do concreto é normalizada pela NBR 6118:2014 e depende das características mecânicas do material que o compõe. Após a última atualização dessa norma, foram determinados quatro valores de coeficiente de correção para a estimativa do módulo de elasticidade do concreto e os diferentes tipos de agregados, sendo eles o basalto e diabásio, granito e gnaiss, calcário e arenito. O estudo do seixo rolado no cálculo do módulo de elasticidade do concreto é proposto devido ao agregado ser de uso mais comum na dosagem do concreto da região de Belém/PA e não compor o quadro de valores para um fator de correção (α_E). O agregado é caracterizado como solo formado por minerais ou partículas de rocha, possui formato isométrico dos grãos, de superfície lisa com ondulações, cuja granulação é predominantemente fina. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi definir o valor de coeficiente de correção (α_E) para o seixo rolado. Para parâmetros de comparação, foram produzidos resultados do fator α_E para a brita granítica em relação ao seixo, confirmando a influência do agregado no módulo de elasticidade do concreto segundo a norma. Portanto, ao obter todos os dados necessários para calcular o fator de correção, determinou-se o α_E em 0,91 e 0,83 para a brita granítica e o seixo rolado, respectivamente. Partindo do valor de referência do α_E de 1 para a brita granítica, segundo a NBR 6118:2014, conclui-se que a eficiência do valor de fator de correção encontrado é de 91%.

Palavras-chave: Deformação. Agregados. Concreto. Seixo. Brita.

1 INTRODUÇÃO

A formulação para o cálculo do módulo de elasticidade do concreto é normalizada e depende da resistência do material que o compõe. Após a última atualização da norma técnica que tange o método de cálculo do módulo de elasticidade do concreto, foram determinados quatro valores de coeficiente de correção para diferentes tipos de agregados, sendo eles o basalto e diabásio, granito e gnaiss, calcário e o arenito. Portanto, o seixo é caracterizado como solo formado por minerais ou partículas de rocha, não havendo um valor de coeficiente determinado para a formulação do método de cálculo. (MEHTA e MONTEIRO, 2014) (NBR 6502, 1995) (NBR 6118, 2014)

O objetivo deste estudo é definir o valor de coeficiente de correção (α_E) para o seixo como agregado graúdo na formulação do módulo de elasticidade do concreto dentro dos parâmetros normalizados pela ABNT NBR 8522:2017.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização dos materiais

O material aglomerante utilizado na dosagem do concreto foi o POTY CP II F 40. Os ensaios de caracterização físicas e mecânica, como área específica (cm^2/g), tempo de início de pega (min), tempo de fim de pega (min) e resistência à compressão aos 28 dias, foram feitos e fornecidos pelo fabricante a partir da norma adequada.

O agregado miúdo utilizado foi a areia quartzosa proveniente de região próxima da cidade de Belém/PA, previamente seca em estufa a $100 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas. O material foi armazenado em recipientes metálicos livres de contaminação, cuja composição granulométrica, o ensaio de massa unitária, massa específica e inchamento foram determinados de acordo com a NBR NM 248:2003, NBR 7251:1982, NBR NM 52:2003 e NBR 6467:2009, respectivamente.

Como agregado graúdo foram utilizados dois materiais distintos, a brita granítica nº 1 e o seixo rolado nº 1, coletados em Tracuateua/PA e Ourém/PA, respectivamente. Os ensaios normalizados realizados para caracterizar os materiais foram as verificações da composição granulométrica, massa unitária, massa específica e apreciação petrográfica dos compostos, conforme as NBR NM 248:2003, NBR NM 45:2006, NBR NM 53:2003 e NBR 7389-2:2009, respectivamente.

Foi utilizado o aditivo Glenium 51, um aditivo super plastificante de terceira geração, líquido, pronto para uso e livre de cloretos. É baseado em uma cadeia de éter policarboxílico modificado que atua como dispersante do material cimentício, propiciando a super plastificação e alta redução de água, oferecendo um concreto com maior trabalhabilidade e sem alteração do tempo de pega.

2.2 Dosagem do concreto

O programa experimental de dosagem do concreto foi realizado em duas etapas. À priori, elaborou-se um estudo de dosagem pelo Método do IPT/EPUSP, aperfeiçoado por Helene e Terzian (1992) para desenvolver o diagrama de dosagem do concreto de referência para a idade de controle de 28 dias. Após concluído a primeira etapa, foi possível determinar os traços utilizados nos experimentos da segunda etapa da dosagem.

O programa experimental foi iniciado a partir de um traço intermediário de 1:5 para os dois tipos de agregados graúdos utilizados no estudo, no qual foi definido o teor de argamassa de 52% para o abatimento de tronco de cone de $100 \pm 20\text{mm}$. Após a execução do concreto e moldagem dos corpos de prova de controle tecnológico, foram executados mais dois traços auxiliares de concreto, um mais rico de 1:3,5 e um mais pobre em cimento de 1:6,5.

A partir do diagrama de dosagem desenvolvido, foram definidos os traços para cada resistência à compressão desejada, com relação a/c conhecida e consumo de cimento intermediário para ser utilizado na etapa definitiva de composição dos traços de concreto.

Foram dosados corpos de prova para quatro resistências à compressão do concreto, ou seja, foram moldadas amostras com o f_{ck} de 25, 30, 35 e 40 MPa, utilizando dos dois agregados propostos. Os traços estão apresentados nas Tabelas 1 e 2 abaixo, para o seixo e brita granítica, respectivamente.

Tabela 1 – Composição da dosagem do concreto de acordo com cada resistência à compressão para o seixo rolado

| Res. à Compressão | Traço Unit. | Água (L) | Fator a/c | Cimento (kg/m³) | Ag. Miúdo (kg/m³) | Ag. Graúdo (kg/m³) |
|-------------------|---------------|----------|-----------|-----------------|-------------------|--------------------|
| C25 | 1; 2,17; 3,17 | 4,80 | 0,70 | 6,86 | 14,88 | 21,74 |
| C30 | 1; 1,88; 2,88 | 4,92 | 0,65 | 7,57 | 14,24 | 21,81 |
| C35 | 1; 1,64; 2,64 | 5,01 | 0,60 | 8,30 | 13,57 | 21,86 |
| C40 | 1; 1,42; 2,42 | 5,12 | 0,57 | 9,05 | 12,87 | 21,92 |

Fonte: Autores, 2018.

Tabela 2 – Composição da dosagem do concreto de acordo com cada resistência à compressão para a brita granítica.

| Res. à Compressão | Traço Unit. | Água (L) | Fator a/c | Cimento (kg/m³) | Ag. Miúdo (kg/m³) | Ag. Graúdo (kg/m³) |
|-------------------|---------------|----------|-----------|-----------------|-------------------|--------------------|
| C25 | 1; 2,61; 3,61 | 4,28 | 0,71 | 6,01 | 15,69 | 21,70 |
| C30 | 1; 2,20; 3,20 | 4,24 | 0,62 | 6,80 | 14,95 | 21,75 |
| C35 | 1; 1,85; 2,85 | 4,19 | 0,55 | 7,66 | 14,17 | 21,82 |
| C40 | 1; 1,55; 2,55 | 4,12 | 0,48 | 8,60 | 13,33 | 21,93 |

Fonte: Autores, 2018.

2.3 Ensaios de controle

2.3.1 Resistência à compressão

Para cada uma das resistências à compressão propostas, foram produzidos 02 corpos de prova cilíndricos com dimensões de 10 cm x 20 cm e idades de cura de 7 e 28 dias, obedecendo os requisitos propostos pela NBR 8255:2017 para a investigação do f_{ck} do concreto.

2.3.2 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade do concreto foi determinado a partir dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão das amostras, conforme os procedimentos descritos pela NBR 8522:2017. Como parâmetro comparativo, foi investigado o fator de correção (α_E) da brita granítica e do seixo rolado, demonstrando a eficiência do estudo, uma vez que a brita granita apresenta um valor definido dentro de norma.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos materiais

A Tabela 3 apresenta valores dos resultados dos ensaios normalizados à caracterização do cimento CP II F 40 fornecidos pela Votorantim Cimentos, com fabricação em 09/2018.

Tabela 3 – Propriedades físicas e mecânicas do cimento CP II F 40, com produção em Setembro/2018

| ENSAIOS | UNIDADE | RESULTADOS | LIMITES SEGUNDO A NBR 11578:1991 |
|--------------------------|---------|------------|----------------------------------|
| Área específica (Blane) | cm²/g | 4576 | ≥ 2600 |
| Tempo de Início de Pega | min | 202 | ≥ 60 |
| Tempo de Fim de Pega | min | 266 | ≤ 600 |
| Resistência à Compressão | MPa | 48,3 | ≥ 40 |

Fonte: Adaptado de VOTORANTIM CIMENTOS, 2018

Na Tabela 4 são apresentados os valores do ensaio de composição granulométrica para o agregado miúdo utilizado na dosagem, a areia quartzosa.

Tabela 4 – Ensaio de composição granulométrica da areia quartzosa

| PENEIRAS # ABNT (mm) | MASSA RETIDA (g) | % RETIDA | % RETIDA ACUMULADA | NORMAS DE REFERÊNCIA (NBR/NM) |
|-------------------------|---------------------|-------------|-----------------------|----------------------------------|
| 4,75 | 0 | 0% | 0% | NM 248:2003 |
| 2,36 | 7,2 | 1% | 1% | |
| 1,18 | 29,97 | 3% | 4% | |
| 0,6 | 174,8 | 17% | 21% | |
| 0,3 | 289,82 | 29% | 50% | |
| 0,15 | 381,82 | 38% | 88% | |
| < 0,15 | 116,39 | 12% | 99% | |
| Total | 1000 | 100% | | |

Fonte: Autores, 2018.

A areia utilizada foi caracterizada como fina, de acordo com o módulo de finura resultante de 1,64, pertencente à zona utilizável inferior segundo a NBR 7211:2005, cujo limite é compreendido entre 1,55 e 2,20. O coeficiente de inchamento, módulo de finura, massa unitária e massa específica foram 38%, 1,64, 1,59 kg/dm³ e 1,27 kg/dm³, respectivamente.

Na Tabela 5 estão representados os resultados da caracterização do seixo rolado utilizado no estudo.

Tabela 5 – Caracterização do seixo rolado quanto as recomendações da norma

| PENEIRAS # ABNT (mm) | MASSA RETIDA (g) | % RETIDA | % RETIDA ACUMULADA | NORMAS DE REFERÊNCIA (NBR/NM) |
|-------------------------|---------------------|----------|-----------------------|----------------------------------|
| 19 | 0 | 0% | 0% | NM 248:2003 |
| 12,5 | 1268,73 | 25% | 25% | |
| 9,5 | 812,68 | 16% | 41% | |
| 6,3 | 575,63 | 12% | 53% | |
| 4,75 | 1074,47 | 21% | 74% | |
| <4,75 | 1268,49 | 26% | 99% | |
| Total | 5000 | 100% | | |

Fonte: Autores, 2018.

Para caracterizar o seixo foi feito ainda a análise petrográfica do agregado, seguindo apenas a apreciação macroscópica. A análise identificou as diferentes colorações da amostra do seixo, caracterizando o agregado como um misto de rochas sedimentares.

Foi visualizado a estrutura foliada do seixo, um material cujos minerais se organizam em planos. Em uma análise mais detalhada, é possível ainda encontrar poros no agregado. Segundo a NBR 7389:2009, o seixo rolado pode ser caracterizado como uma rocha coerente, devido à fácil quebra ao golpe do martelo, às bordas cortantes abrandadas pelo corte de uma lâmina de aço e a sua superfície ser riscada por lâmina de aço.

Analizando as propriedades da brita granítica, a Tabela 6 demonstra os resultados do ensaio de composição granulométrica realizado.

Tabela 6 – Caracterização da brita granítica quanto às recomendações normalizadas

| PENEIRAS # ABNT (MM) | MASSA RETIDA (G) | % RETIDA | % RETIDA ACUMULADA | NORMAS DE REFERÊNCIA (NBR/NM) |
|-------------------------|---------------------|-------------|-----------------------|----------------------------------|
| 19,0 | 464,21 | 9% | 9% | NM 248:2003 |
| 12,5 | 2755,7 | 56% | 66% | |
| 9,5 | 1054,74 | 22% | 87% | |
| 6,3 | 271,21 | 6% | 93% | |
| 4,75 | 76,7 | 2% | 94% | |
| <4,75 | 273,57 | 6% | 99% | |
| Total | 5000 | 100% | | |

Fonte: Autores, 2018

Na Tabela 7 estão demonstrados os resultados dos demais ensaios normalizados de caracterização dos materiais, diâmetro máximo para os agregados graúdos, módulo de finura, massa unitária e massa específica para os dois agregados graúdos utilizados no estudo, bem como suas respectivas normas brasileiras às quais foram seguidos os ensaios.

Tabela 7 – Resultados da caracterização dos agregados graúdos utilizados

| ENSAIO | UN. | SEIXO ROLADO | BRITA GRANÍTICA | METODO |
|---------------|--------------------|--------------|-----------------|---------------|
| D. Máximo | mm | 19,0 | 19,00 | NM 248:2003 |
| M. Finura | - | 4,04 | 2,12 | NBR 6467:2009 |
| M. Unitária | kg/dm ³ | 1,60 | 1,40 | NBR 7251:1982 |
| M. Específica | kg/dm ³ | 2,61 | 2,65 | NM 52:2003 |

Fonte: Autores, 2018

3.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão do concreto foi determinada pela média aritmética dos resultados dos 02 corpos de prova de cada f_{ck} , aos 28 dias de idade de cura, conforme determina a NBR 8522:2017. Nas Tabela 8 e 9 estão apresentados os valores de resistência média à compressão dos corpos de prova rompidos para produção do concreto com 28 dias, os valores de abatimento de tronco de cone (Slump Test) para cada classe de concreto analisada no estudo, e o ganho de resistência para o seixo rolado e brita granítica, respectivamente.

Tabela 8 – Resultado do ensaio de resistência média à compressão do seixo rolado em 7 e 28 dias de cura

| CORPO DE PROVA | SLUMP TEST (mm) | RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO (MPa) | | PORCENTAGEM DE GANHO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (f_{ck28}/f_{ck7}) |
|----------------|-----------------|--------------------------------------|---------|---|
| | | 7 DIAS | 28 DIAS | |
| C25 | 65 | 17,9 | 26,7 | 107% |
| C30 | 65 | 24,3 | 29,3 | 98% |
| C35 | 130 | 25,0 | 31,6 | 90% |
| C40 | 65 | 24,3 | 35,4 | 89% |

Fonte: Autores, 2018

A média de resistência à compressão obtida aos 28 dias para o C25, C30, C35 e C40 moldados com o seixo rolado foram 26,7, 29,3, 31,6 e 35,4 MPa, respectivamente. Percebe-se que o único concreto que alcançou o f_{ck} pretendido foi o de classe C25, com ganho de resistência a compressão aos 28 dias de 107%, a classe que alcançou menor eficiência foi a C40, 11% abaixo do que o desejado.

A Tabela 9 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos concretos feitos com brita granítica. Analisando os valores, todos os corpos de prova moldados com o agregado ficaram abaixo do f_{ck} pretendido, destacando o f_{ck} do concreto de classe C30 que alcançaram 94% de ganho de resistência, o percentual máximo aos 28 dias para a brita granítica.

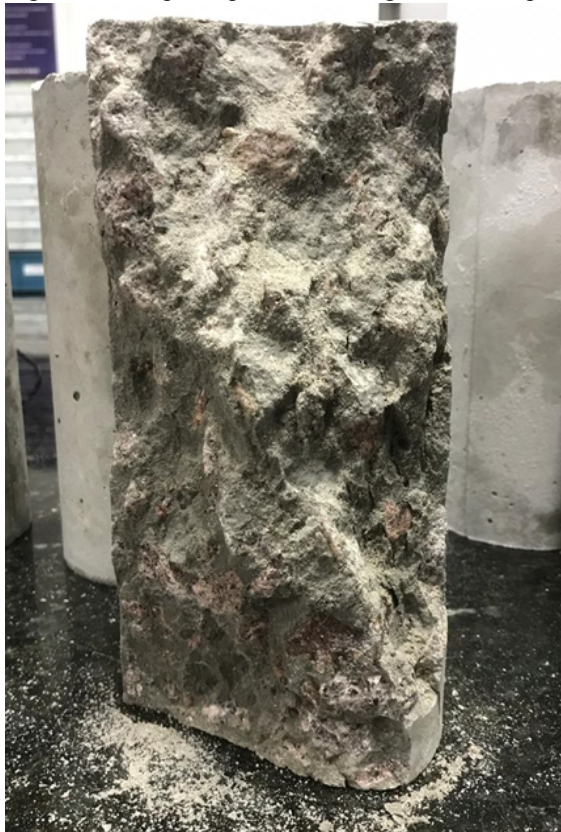
Tabela 9 – Resultado do ensaio de resistência média à compressão do seixo rolado em 7 e 28 dias de cura

| CORPO DE PROVA | SLUMP TEST (mm) | RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO (MPa) | | PORCENTAGEM DE GANHO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (f_{ck28}/f_{ck7}) |
|----------------|-----------------|--------------------------------------|---------|---|
| | | 7 DIAS | 28 DIAS | |
| C25 | 180 | 17,9 | 20,5 | 82% |
| C30 | 130 | 24,5 | 28,3 | 94% |
| C35 | 150 | 25,0 | 32,3 | 92% |
| C40 | 140 | 25,3 | 33,4 | 84% |

Fonte: Autores, 2018

Segundo as Figura 1 é possível perceber que o corpo de prova rompeu na zona de transição pasta-agregado, resultado esperado para as amostras com brita granítica, visto que as propriedades mecânicas deste tipo de agregado são mais favoráveis aos ensaios de resistência a compressão, se comparado ao seixo. Na Figura 2, analisando os ensaios para o seixo é possível perceber que os corpos de provas romperam no agregado, caracterizando o seixo rolado um agregado friável e de propriedades mecânicas inferiores aos da brita granítica.

Figura 1 – Corpo de prova de brita granítica rompido aos 28 dias a resistência à compressão



Fonte: Autores, 2018

Figura 2 – Corpo de prova de seixo rolado rompido aos 28 dias a resistência à compressão



Fonte: Autores, 2018

Analisando os fatores que afetam a resistência à compressão do concreto, embora que na dosagem tenha sido feito uso de aditivo plastificante, as características dos agregados foram determinantes para estabelecer a relação a/c utilizada nos concretos, como a grande quantidade de finos existente no seixo rolado analisado. Percebe-se, ainda, que o abatimento do tronco de cone (Slump Test) não foi constante em nenhum dos traços experimentais dos dois agregados, afetado diretamente o desempenho do ganho de resistência dos corpos de prova e a eficiência do traço. Esta variação de abatimento pode estar relacionada à incompatibilidade da quantidade de uso do aditivo no momento de aplicação, uma vez que os materiais não são homogêneos.

3.3 Módulo de elasticidade do concreto

A dispersão máxima entre um resultado individual do módulo de elasticidade inicial ($E_{ci,i}$) e a média destes resultados ($E_{ci,m}$) não podem ser superior a 5%. A mesma norma recomenda que quando a dispersão máxima for superior a 5%, o valor discrepante seja descartado do cálculo da média e uma nova média deve ser calculada. Na Tabela 10 estão apresentados os resultados do $E_{ci,i}$ encontrado, o f_{ck} obtido no ensaio de resistência à compressão, o $E_{ci,m}$ a partir dos valores individuais e a dispersão máxima do $E_{ci,i}$ e $f_{c,ef}$ entre os três corpos de prova o seixo rolado.

Tabela 10 – Resultado dos ensaios de módulo de elasticidade para o seixo rolado

| CLASSE DE RESISTÊNCIA | F _{CK(28)} (MPA) | E _{CI,I} (GPA) | F _{C,EF} (MPA) | DISPERSÃO MÁX. DO F _{C,EF} ≤ 20% | E _{CI,M} (GPA) | DISPERSÃO MÁX. DO E _{CI,I} ≤ 5% | E _{CI,M} CORRIGIDO (GPA) |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---|-------------------------|--|-----------------------------------|
| C25 | 26,7 | 40,6 | 23,0 | 14% | 25,8 | 57% | 24,6 |
| | | 12,2 | 15,2 | 43% | | 53% | |
| | | 24,6 | 25,4 | 5% | | 5% | |
| C30 | 29,3 | 19,2 | 29,7 | 2% | 23,0 | 16% | 22,1 |
| | | 22,0 | 32,1 | 10% | | 4% | |
| | | 27,6 | 30,9 | 6% | | 20% | |
| C35 | 31,6 | 39,0 | 29,8 | 6% | 31,0 | 26% | 31,5 |
| | | 31,5 | 29,1 | 8% | | 1% | |
| | | 22,7 | 28,8 | 9% | | 27% | |
| C40 | 35,4 | 22,5 | 36,1 | 2% | 24,3 | 7% | 24,4 |
| | | 26,0 | 35,1 | 1% | | 7% | |
| | | 24,4 | 34,9 | 2% | | 0% | |

Fonte: Autores, 2018

Tabela 11 – Resultado dos ensaios de módulo de elasticidade para a brita granítica

| CLASSE DE RESISTÊNCIA | F _{CK(28)} (MPA) | E _{CI,I} (GPA) | F _{C,EF} (MPA) | DISPERSÃO MÁX. DO F _{C,EF} ≤ 20% | E _{CI,M} (GPA) | DISPERSÃO MÁX. DO E _{CI,I} ≤ 5% | E _{CI,M} CORRIGIDO (GPA) |
|-----------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|---|-------------------------|--|-----------------------------------|
| C25 | 20,5 | 21,8 | 24,2 | 18% | 26,3 | 22% | 26,3 |
| | | 26,3 | 23,8 | 16% | | 5% | |
| | | 35,4 | 20,2 | 1% | | 27% | |
| C30 | 28,3 | 28,0 | 31,4 | 11% | 28,7 | 2% | 27,7 |
| | | 28,0 | 28,2 | 0% | | 2% | |
| | | 30,1 | 28,9 | 2% | | 5% | |
| C35 | 32,3 | 27,8 | 36,6 | 13% | 28,2 | 1% | 28,2 |
| | | 27,0 | 26,1 | 19% | | 4% | |
| | | 29,6 | 38,8 | 20% | | 5% | |
| C40 | 33,4 | 23,8 | 32,8 | 2% | 23,4 | 2% | 24,4 |
| | | 25,1 | 33,8 | 1% | | 7% | |
| | | 21,4 | 34,2 | 2% | | 9% | |

Fonte: AUTORES, 2018

É possível entender que, analisando a Tabela 10, a maioria dos resultados alcançados não estão de acordo com o que recomenda a NBR 8522:2017. O primeiro critério para avaliar é a tensão de ruptura efetiva ($f_{ck,ef}$) feita no ensaio de módulo de elasticidade tangente inicial que não deve ser maior do que 20% da tensão de ruptura obtida no ensaio de resistência à compressão. Analisando os resultados demonstrados na Tabela 10, o único corpo de prova descartado do cálculo do $E_{ci,m}$ foi da classe C25 que obteve 43% de dispersão do $f_{ck,ef}$. Desta forma, foi definido o $E_{ci,m}$ e analisada a dispersão máxima entre os corpos de prova individuais ($E_{ci,i}$) e a média dos mesmos ($E_{ci,m}$), de forma que para definir o valor de módulo de elasticidade tangente inicial foi descartado os valores maiores que 5%, chegando ao $E_{ci,i}$ final na coluna de $E_{ci,m}$ corrigido. Para a brita, foi seguido o mesmo critério e alcançado o valor final de módulo na coluna de $E_{ci,m}$ corrigido.

3.3.1 Influência do seixo rolado no $E_{ci,i}$

Após obter os resultados de $E_{ci,i}$ no ensaio de módulo de elasticidade e considerando os valores de f_{ck} encontrado no ensaio de resistência à compressão, seguindo os critérios da NBR NBR 8522:2017, foi possível fazer o cálculo do fator de correção (α_E) para o seixo rolado e para a brita granítica, demonstrados, respectivamente, nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 – Resultado do fator de correção α_E para a brita granítica

| CLASSE DE RESISTÊNCIA | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) | MÓDULO DE ELASTICIDADE INICIAL (GPa) | FATOR DE CORREÇÃO (α_E) |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| C25 | 20,5 | 26,3 | 1,04 |
| C30 | 28,3 | 28,7 | 0,96 |
| C35 | 32,3 | 28,2 | 0,88 |
| C40 | 33,4 | 24,5 | 0,76 |

Fonte: AUTORES, 2018

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 12, a média do fator de correção para a brita granítica resultou em 0,91. Segundo a NBR 6118:2014, as classes de concreto que mais se aproximaram do valor existente foram as C25 e C30, com o valor de 1,04 e 0,96, respectivamente, e 0,04 de desvio padrão.

Tabela 13 – Resultado do fator de correção α_E para o seixo rolado

| CLASSE DE RESISTÊNCIA | RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa) | MÓDULO DE ELASTICIDADE INICIAL (GPa) | FATOR DE CORREÇÃO (α_E) |
|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| C25 | 26,7 | 24,6 | 0,85 |
| C30 | 29,3 | 22,1 | 0,73 |
| C35 | 31,6 | 31,5 | 1,00 |
| C40 | 35,4 | 24,4 | 0,73 |

Fonte: AUTORES, 2018

Partindo da análise da Tabela 13, para o cálculo do fator de correção do seixo rolado, a média do α_E foi de 0,83, tendo a dispersão máxima entre os valores de uma média de 0,01.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização do programa experimental proposto e da análise dos resultados obtidos, foi possível observar o comportamento do seixo rolado e brita granítica nas propriedades do estado endurecido do concreto.

Ao caracterizar os dois agregados foram registradas inconsistências em relação aos parâmetros recomendados pelas normas no ensaio de composição granulométrica, cujas curvas dos dois agregados grãos tiveram divergências segundo os limites estabelecidos pela NBR 7211:2015. Desta forma, concluiu-se que o seixo rolado e a brita granítica utilizados são caracterizados conforme as grandes quantidades de partículas retidas nas peneiras de abertura

9,5 e 12,5 mm e 9,5, 12,5 e 19 mm, respectivamente, além da grande quantidade de finos existente na amostra de seixo rolado, características comuns para o seixo rolado classificado como "não lavado". Os demais ensaios de caracterização foram coerentes com as recomendações normalizadas.

No ensaio de resistência a compressão com uso do seixo, apenas o concreto da classe C25 alcançou a resistência proposta, com ganho de resistência à compressão de 107% aos 28 dias, superando o esperado. Os corpos de prova de classe C30, C35 e C40 ficaram em uma média de 8% menor que o f_{ck} sugerido em cada classe. Para análise da brita, nenhum dos resultados alcançaram o f_{ck} proposto, ficando em média 12% menor que o esperado. Em análise dos fatores que afetam a resistência à compressão do concreto, embora que na dosagem tenha sido feito uso de aditivo plastificante na tentativa de diminuir a água em relação ao consumo de cimento e manter o f_{ck} proposto, as características inconsistentes dos agregados foram determinantes para estabelecer a relação a/c utilizada nos concretos, como a grande quantidade de finos existente no seixo rolado analisado.

Analisando os resultados do ensaio de módulo de elasticidade tangente inicial do concreto para os materiais, ainda que algumas resistências à compressão não tenham obtido a eficiência desejada, foi possível aplicar a formulação e encontrar o valor de módulo de elasticidade para cada classe de f_{ck} .

Portanto, ao obter todos os dados necessários para calcular o fator de correção, determinou-se o α_E em 0,91 e 0,83 para a brita granítica e o seixo rolado, respectivamente. Partindo do valor de referência do α_E de 1,00 para a brita granítica, segundo a NBR 6118:2014, conclui-se que a eficiência do estudo é de 91%.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 2015

_____, **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____, **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014

_____, **NBR 6467**: Agregados – Determinação do inchamento de agregado miúdo. Rio de Janeiro, 2009.

_____, **NBR 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

_____, **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

_____, **NBR 7389-2**: Agregados – Análise petrográfica de agregado para concreto – Parte 2: Agregado Graúdo. Rio de Janeiro, 2009.

_____, **NBR 8522**: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017

_____, **NBR 7251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982

_____, **NBR 11578**: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

_____, **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____, **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação de massa específica massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2003

_____, **NBR NM 53:** Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água 2003

_____, **NBR NM ISO 3310-1:** Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1: Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro, 1997.

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

INSTRUCTIONS FOR PREPARATION AND SUBMISSION OF WORKS TO THE SCIENTIFIC COMMITTEE OF XLVI BRAZILIAN CONGRESS OF ENGINEERING EDUCATION

Abstract: *The formulation for the calculation elasticity modulus of concrete is normalized by NBR 6118: 2014 and depends on the mechanical characteristics of the material that composes it. After the last update of this standard, four values of correction coefficient for the estimation of the elasticity modulus of the concrete and the different types of aggregates were determined, being basalt and diabase, granite and gneiss, limestone and sandstone. The study of rolled pebbles in the calculation of the elasticity modulus of concrete is proposed because the aggregate is most commonly used in the concrete dosage in Belém / PA region and does not compose the table of values for a correction factor (αE). The aggregate is characterized as soil formed by minerals or rock particles, is isometric grain format, smooth surface with ripples, whose granulation is predominantly fine. Therefore, the objective of this study was to define the coefficient of correction (αE) for the rolled pebble. For parameters of comparison, results of the factor αE for the granite gravel were produced in relation to the pebble, confirming the influence of the aggregate on the elasticity modulus of the concrete according to the standard. Therefore, when all the necessary data were obtained to calculate the correction factor, the αE was determined in 0.91 and 0.83 for the granite and the rolled pebble, respectively. From the reference value of αE of 1 for the granite gravel, according to NBR 6118: 2014, it is concluded that the efficiency of the correction factor value found is 91%.*

Key-words: Strain. Aggregate. Concrete. Pebble. Gravel