

MÓDULO DE ELASTICIDADE PARA O CONCRETO: UM ESTUDO PROBABILÍSTICO ENVOLVENDO AGREGADOS CONVENCIONAIS E RECICLADOS

Ana C. Carius*, **Vinícius C. F. da Rosa**, **Leonardo de S. Corrêa**, **Caio M. F. da Rosa**,
Alex J. Teixeira

*Centro de Engenharia e Computação, Universidade Católica de Petrópolis, Petrópolis, 25.685-070,
RJ, Brasil*

Palavras-chave: Módulo de Elasticidade, Probabilidade, Agregados Convencionais, Agregados Reciclad.

Resumo. O presente trabalho objetivou avaliar o módulo de elasticidade para o concreto do ponto de vista probabilístico através de um estudo comparativo entre o valor do módulo de elasticidade para o concreto constituído por agregados convencionais e o valor do mesmo parâmetro para o concreto obtido a partir da inserção de agregados reciclados. A metodologia da pesquisa se constituiu de ensaios laboratoriais de acordo com a norma ABNT NBR 8522:2017 com os dois materiais propostos e posterior análise de resultados estatísticos utilizando-se o teste não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov (KS), a fim de se avaliar o comportamento gaussiano das duas amostras, ou seja, comparar a distribuição de probabilidades das amostras em questão. Concluiu-se que, apesar dos traços de concreto serem constituídos de materiais distintos, ambos se comportam de forma semelhante. Verificou-se, também, uma anacronia entre os resultados experimentais e o valor determinístico para o módulo de elasticidade do concreto dado pela norma ABNT NBR 6118:2014, de certa forma esperado, uma vez que a equação determinística é utilizada quando não é possível realizar o ensaio para o módulo de elasticidade. Propõe-se um intervalo de confiança para o parâmetro em questão, tanto para o concreto com agregados convencionais quanto para o concreto com agregados reciclados.

Endereços de e-mail: ana.carius@ucp.br*, vinicius.rosa@ucp.br, leo.s.c@hotmail.com,
mfr.caio@gmail.com, alex.teixeira@ucp.br.

ELASTICITY MODULE FOR CONCRETE: A PROBABILITY STUDY INVOLVING CONVENTIONAL AND RECYCLED AGGREGATES

Keywords: Modulus of Elasticity, Probability, Conventional Aggregates, Recycled Aggregates.

Abstract. The present work aimed to evaluate the modulus of elasticity for the concrete from the probabilistic point of view through a comparative study between the value of the modulus of elasticity for the concrete constituted by conventional aggregates and the value of the same parameter for the concrete obtained from the insertion. of recycled aggregates. The research methodology consisted of laboratory tests according to the Brazilian standard ABNT NBR 8522:2017 with the two proposed materials and subsequent analysis of statistical results using the non-parametric Kolmogorov-Smirnov (KS) test, in order to evaluate the Gaussian behavior of the two samples. It was concluded that, although the concrete traces consist of different materials, both behave similarly. There was also an anachronism between the experimental results and the deterministic value for the concrete modulus of elasticity given by standard ABNT NBR 6118:2014. It is believed from the results found that obtaining the modulus of elasticity for the concrete in a deterministic way does not generally represent the value for the parameter in question.

1 INTRODUÇÃO

Sustentabilidade, de forma geral, é a característica ou condição que permite a determinação e continuidade de um sistema por um prazo específico. Tal termo tem sido empregado, com frequência, em relação à preservação e manutenção do meio ambiente. A construção civil, na medida que faz uso de matérias-primas não renováveis e modifica sensivelmente o meio ambiente, não fica à margem da atual discussão acerca de formas de se desenvolver os espaços urbanos, cada vez mais habitados, mantendo-se o mínimo necessário para o funcionamento de todo o sistema por um tempo razoável.

A construção civil é considerada uma das atividades mais importantes para o desenvolvimento econômico e social do país. Segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), o aumento do PIB (Produto Interno Bruto) brasileiro de 0,4 %, registrado no segundo trimestre de 2019, taxa comparada ao mesmo índice para o primeiro trimestre de 2019, relaciona-se ao aumento do investimento no país em 15,9 % do PIB para o segundo trimestre de 2019. O IBGE destaca o impacto no índice do avanço de 1,9 % na construção, acompanhada pelo avanço de 0,7 % do setor imobiliário [1]. Observa-se, a partir deste resultado, a importância econômica do setor da construção civil e comercialização imobiliária para o desenvolvimento da economia brasileira.

No entanto, existe uma preocupação com o desenvolvimento econômico do país de forma sustentável, uma vez que a exploração dos recursos naturais não renováveis, aliados a utilização de espaços outrora inabitáveis por centros urbanos pode inviabilizar determinadas regiões a curto prazo, o que não é de interesse da população. Dados do IBGE apontam que em 2015 aproximadamente 84 % dos brasileiros já vivia em centros urbanos e que a previsão do IBGE para o ano de 2020 é de que este número avance a 90 % [6].

O avanço dos centros urbanos nos últimos anos permite uma reflexão ainda maior sobre a expansão urbana de forma sustentável, incluindo a construção civil neste processo. É neste cenário que o estudo sobre reutilização de materiais oriundos de demolição da própria construção civil se justifica. Aponta-se diversas fontes geradoras de resíduos na construção civil brasileira, tais como: déficit habitacional, que impulsiona constantemente a construção de novas habitações, às vezes de forma desordenada; a falta de qualidade de bens e serviços que leva às manifestações patológicas, criando a necessidade de manutenção mais frequente devido a redução da vida útil das construções e a necessidade de manutenção de estruturas que foram concebidas num passado não muito distante, sem o conhecimento necessário acerca de sua durabilidade.

Este trabalho apresenta a discussão de um aspecto relevante ao comportamento mecânico do concreto: o parâmetro módulo de elasticidade. Por definição, o módulo de elasticidade é a razão entre a tensão aplicada sobre um corpo e a deformação específica sobre o mesmo corpo. Para os materiais idealizados por Robert Hooke, verifica-se uma proporcionalidade entre a força aplicada e a deformação obtida. No entanto, o concreto não mantém esta proporcionalidade, variando-se o módulo de elasticidade de acordo com a carga aplicada [9]. Em geral, o módulo de elasticidade é obtido através de métodos experimentais, uma vez que diversos fatores afetam o valor para o mesmo, tais como: o tempo de cura do concreto, a temperatura da cura, proporções da mistura e propriedades dos agregados, destacando-se a proporção água/cimento, tamanho e forma do corpo de prova, entre outros [7].

Observa-se que a utilização de agregado reciclado de concreto na construção civil vem aumentando em todo o mundo devido aos benefícios ambientais que este oferece. No entanto, destaca-se a escassez de empresas que realizam o beneficiamento dos resíduos e o alto custo com maquinário para tais fins, o que desfavorece esta prática na construção, uma vez que não se modifica, de forma considerável, o orçamento de uma obra com a utilização de agregados

reciclados. Outra questão de suma importância nesta discussão recai sobre a inexistência, na literatura, de pesquisas com resultados conclusivos sobre o desempenho mecânico do concreto a partir da inserção de agregados reciclados em sua concepção [8].

Diante do exposto, o presente trabalho realizou um estudo, em caráter quantitativo, acerca do valor do módulo de elasticidade para o concreto, comparando-se as distribuições probabilísticas do módulo de elasticidade estático para um concreto constituído por agregados convencionais e outro constituído por agregados provenientes por processo de beneficiamento de concreto pré-fabricado. Analisou-se, a partir de um teste não paramétrico de probabilidade, o tipo de distribuição dos dados. Verificou-se que, em ambos os casos, os valores experimentais para o módulo de elasticidade estático se comportam como uma distribuição gaussiana. Por fim, se comparou os valores obtidos em laboratório com o valor referencial determinístico presente na ABNT NBR 6118:2014 [3]. Concluiu-se que o parâmetro módulo de elasticidade, quando considerado determinístico, não traduz os resultados experimentais em todos os casos, dada a natureza heterogênea do concreto. Destaca-se que a norma ABNT NBR 6118:2014 [3] prevê a utilização de um valor determinístico na ausência de instrumentos capazes de medir o módulo de elasticidade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção apresenta-se os materiais utilizados nos experimentos laboratoriais ocorridos no laboratório de construção civil da universidade sede da pesquisa. Ressalta-se que foram selecionados dois grupos de controle: um grupo constituído por agregados convencionais e outro constituído por agregados reciclados.

2.1 Definição e caracterização dos materiais

O Grupo de Controle I (GC-I) foi elaborado com materiais utilizados de forma convencional para o concreto. O cimento utilizado para o GC-I foi o CP II, E-32, da TUPI. Foram usados 38 kg de cimento, de um mesmo saco (mesmo lote). Como agregado miúdo foi usada uma areia média (diâmetro de 0,42 a 2 mm) de origem natural, na quantidade de 63 kg, de uma mesma amostra. Para os agregados graúdos foram utilizados na composição de brita 0 e brita 1, de origem granítica, na proporção de 60 % de brita 0 (diâmetro de 4,8 a 9,5 mm) e 40 % de brita 1 (diâmetro de 9,5 a 19,0 mm). Foram utilizados 13,5 litros de água, fornecidos pela concessionária de água do município de Petrópolis (Águas do Imperador), dentro dos limites normais de potabilidade. Por fim, foram usadas 228 g de aditivo superplastificante, TecFlow 9030 da GRACE. A Tabela 1 apresenta a dosagem do concreto utilizado para GC-I. Foram moldados 50 corpos-de-prova de acordo com as especificações das normas ABNT NBR NM 52:2009 [2] e ABNT NBR 5738:2016 [4].

Tabela 1: Traço do concreto para GC-I

f_{ck} (MPa)	40
Relação a/c	0,36
Cimento (kg/m ³)	480
Água (litros/m ³)	171
Areia (kg/m ³)	850
Brita 0 (kg/m ³)	600
Brita 1 (kg/m ³)	400
Aditivo (0,6 %) / Massa cimento (litros)	28,8

O Grupo de Controle II (GC-II) foi elaborado a partir de agregados reciclados. Foi calculada uma dosagem teórica padrão para $f_{ck} = 30$ MPa. O cimento utilizado foi o CP III 40 RS; areia e brita artificiais e o aditivo superplastificante TecFlow 9030 da GRACE. A Tabela 2 apresenta a dosagem do concreto utilizado para GC-II.

Tabela 2: Traço do concreto para GC-II

f_{ck} (MPa)	30
Relação a/c	0,45
Cimento (kg/m^3)	415,27
Água (litros/m^3)	188,41
Areia reciclado (kg/m^3)	810,61
Brita 0 reciclado (kg/m^3)	594,44
Brita 1 reciclado (kg/m^3)	396,29
Aditivo (0,6 e 2 %)	-

Observa-se, na Tabela 2, que a areia, brita 0 e brita 1, obtidos artificialmente, foram gerados a partir de corpos-de-prova descartados de moldagens anteriores no mesmo laboratório no qual a pesquisa foi realizada. Para o beneficiamento do material, uma empresa prestadora de serviço em pedreira, parceira do laboratório, se prontificou a gerar os agregados artificiais nos tamanhos requeridos pelo projeto. Destaca-se, também, que se manteve as medidas dos agregados utilizados nos dois traços, apesar de um concreto ter sido calculado para 40 MPa (GC-I) e outro para 30 MPa (GC-II). A quantidade de aditivo variou entre 0,6 % e 2 %, uma vez que, como era um traço desenvolvido de forma experimental, vários testes foram realizados a fim de garantir a trabalhabilidade e preservação das demais características do traço. Foram moldados 500 corpos-de-prova para o GC-II, pois o estudo foi realizado sob diversos aspectos mecânicos para o concreto, embora o recorte deste trabalho seja dado exclusivamente para o módulo de elasticidade.

2.2 Ensaio para o módulo de elasticidade estático

Foram realizados ensaios com corpos-de-prova de dimensões 10 x 20 cm, moldados conforme a norma ABNT NBR 5738:2016 [4]. Foram submetidos ao ensaio do módulo de elasticidade tangencial 30 corpos-de-prova do GC-I sendo que um deles apresentou um valor espúrio. Portanto foram calculados 29 valores distintos para o módulo de elasticidade estático para GC-I. Para o GC-II foram submetidos ao ensaio do módulo de elasticidade tangencial 17 corpos-de-prova, sendo que também um deles apresentou um valor espúrio, sendo descartado. Logo foram calculados 16 valores distintos para o módulo de elasticidade estático para GC-II.

O valor previsto para o módulo de elasticidade, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014 [3], é dada por:

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

De acordo com (1), o valor referencial para o módulo de elasticidade de GC-I é de 35,85 GPa. Para o GC-II, o valor referencial em (1) é de 31,62 GPa. Esses valores foram definidos a partir do f_{ck} experimental obtido pelo ensaio de resistência à compressão com corpos-de-prova extraídos do mesmo traço dos corpos-de-prova do GC-I e GC-II. A Figura 1 mostra o aparato utilizado para o ensaio de módulo de elasticidade tangencial.

Existem duas formas usuais de se extrair os valores para o módulo de elasticidade estático: uma através do aparato descrito na Figura 1; e outra utilizando-se os chamados *strain gages*. A primeira forma utiliza-se de relógios de medição (analógicos ou digitais), os quais medem a

deformação do corpo-de-prova quando submetido à compressão. A norma brasileira ABNT NBR 8522:2017 [5] exige a instalação de pelo menos dois relógios comparadores no aparato. O procedimento é repetido por três vezes e a leitura, ao final, é feita manualmente pelo laboratorista. A segunda forma utiliza os *strain gages* para a aquisição de dados de forma computacional, não sendo necessária a leitura dos relógios de medição pelo laboratorista. Se os equipamentos utilizados em ambas as formas estiverem devidamente aferidos e o laboratorista tiver domínio de ambos os procedimentos, não há diferença, em termos de precisão, entre os dois métodos. Na universidade que sediou o estudo, estava à disposição dos autores apenas o dispositivo com os relógios comparadores.



Figura 1: Aparato utilizado no ensaio para o módulo de elasticidade estático

3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Objetivando-se demonstrar que o módulo de elasticidade é uma grandeza probabilística, submeteu-se os 29 valores encontrados para o GC-I e os 16 valores encontrados para o GC-II ao teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), o qual avalia o grau de concordância entre a distribuição de um conjunto de valores amostrais e a distribuição normal de probabilidades, ou seja, considera-se como hipótese nula H_0 que o conjunto de dados se comporte como uma distribuição normal. A hipótese H_1 assume que a distribuição de dados em questão não se comporta como uma distribuição normal. Cabe ressaltar que o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) funciona bem para amostras pequenas. De acordo com Torman et al. [10], o percentual de acerto do teste KS para uma amostra com $n = 10$ dados é de 100 %. Em virtude desta precisão, para um número pequeno de amostras, o teste de Kolmogorov-Smirnov foi escolhido.

Para o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS) a hipótese nula H_0 é não é rejeitada se o $D_{máximo}$ for inferior ao $D_{crítico} = 0,295$ para o nível de significância de 1 %, ou seja, a probabilidade de não rejeitar a hipótese nula H_0 dada que esta é verdadeira é de 99 %.

A avaliação dos valores para o módulo de elasticidade pelo teste KS para GC-I é dada pela Tabela 3.

Tabela 3: Valores de referência para o Teste de Kolmogorov-Smirnov para GC-I

Dados	Valores
Quantidade	29
Média aritmética (GPa)	40,60
Desvio Padrão (GPa)	2,33
Intervalo de confiança (amplitude) (GPa)	1,11
Limite inferior (GPa)	39,49
Limite superior (GPa)	41,72

A partir dos dados expostos na Tabela 3, o $D_{máximo}$ é dado por $0,218 < D_{crítico} = 0,295$, donde conclui-se que a hipótese nula, isto é, o conjunto de dados que representam o valor do módulo de elasticidade para o concreto de $f_{ck} = 40$ MPa pode ser considerada uma distribuição normal de probabilidades, pois não houve evidência para se rejeitar a hipótese nula. O intervalo de confiança também foi medido com 99 % de certeza, ou seja, o valor do módulo de elasticidade para o concreto em questão pertence ao intervalo $[39,49; 41,72]$ com 99 % de confiança, para valores dados em GPa.

A Figura 2 representa a distribuição de probabilidades normal do conjunto de valores experimentais para o módulo de elasticidade para GC-I.

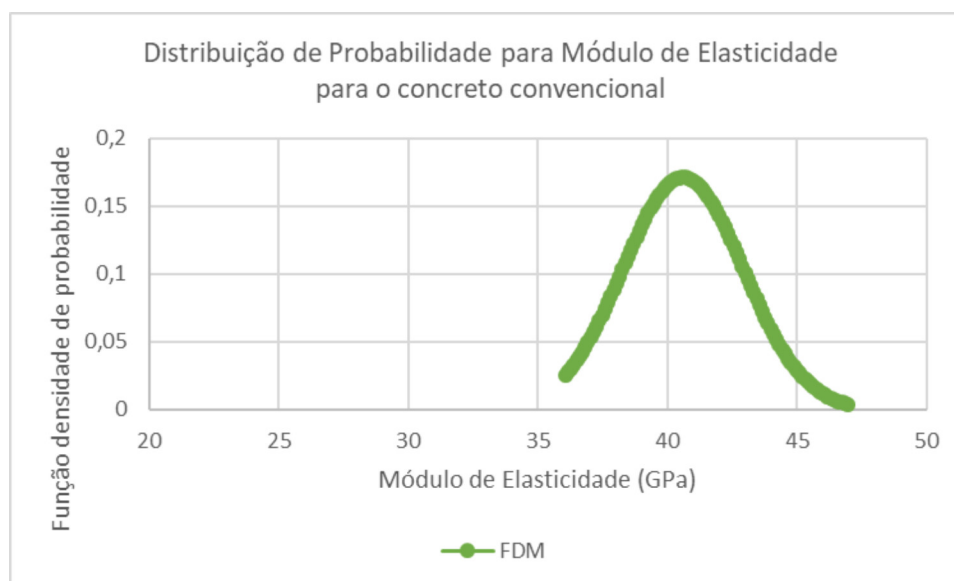


Figura 2: Gráfico da Distribuição para Módulo de Elasticidade para o GC-I

De forma análoga, a avaliação dos valores para o módulo de elasticidade pelo teste KS para GC-II é dada pela Tabela 4.

Baseados nos dados obtidos na Tabela 4, o $D_{máximo}$ é dado por $0,208 < D_{crítico} = 0,295$, donde conclui-se que a hipótese nula, isto é, o conjunto de dados que representam o valor do módulo de elasticidade para o concreto de $f_{ck} = 30$ MPa pode ser considerada uma distribuição normal de probabilidades pois não houve evidência para se rejeitar a hipótese nula. O intervalo de confiança também foi medido com 99 % de certeza, ou seja, o valor do módulo de elasticidade para o concreto em questão pertence ao intervalo $[38,47; 45,61]$ com 99 % de confiança, para valores dados em GPa.

Tabela 4: Valores de referência para o Teste de Kolmogorov-Smirnov para GC-II

Dados	Valores
Quantidade	16
Média aritmética (GPa)	42,04
Desvio Padrão (GPa)	5,54
Intervalo de confiança (amplitude) (GPa)	3,57
Limite inferior (GPa)	38,47
Limite superior (GPa)	45,61

A Figura 3 representa a distribuição normal de probabilidades para os valores experimentais do módulo de elasticidade para o GC-II.

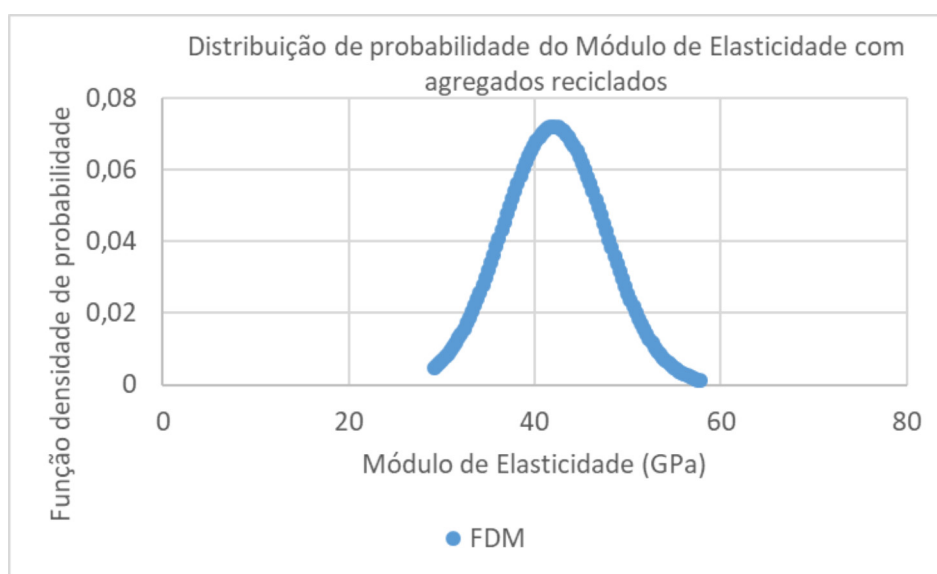


Figura 3: Gráfico da Distribuição para Módulo de Elasticidade para o GC-II

4 DISCUSSÃO

Considerando-se os resultados apresentados na Seção 3, é possível observar semelhanças e diferenças entre os valores para o módulo de elasticidade em GC-I e GC-II. Como aspecto de semelhança, a inclusão de agregados artificiais não modifica o caráter gaussiano da distribuição dos valores para o módulo de elasticidade, como mostram as Figuras 2 e 3. No entanto, observa-se que os valores para o desvio padrão para GC-I são bem menores do que os observados para o GC-II. Acredita-se que este fato seja consequência de os agregados artificiais proporcionarem uma distribuição dos vazios diferente, mais heterogênea do que no caso dos agregados naturais.

Outro aspecto de muita relevância é a discrepância entre o valor esperado para o módulo de elasticidade tangencial, calculado a partir da Eq. (1), tanto para o GC-I quanto para o GC-II. Foi observado um valor discrepante em pelo menos 10 GPa, em cada caso. Essa questão conduziu os autores a refletirem a respeito do determinismo deste parâmetro para o caso do concreto. Em virtude do caráter heterogêneo do concreto, acredita-se que estabelecer valores determinísticos exatos não garante a representatividade do parâmetro em casos reais, o que se refletiria em um comportamento mecânico ligeiramente distinto do esperado quando o parâmetro é constante.

Nesse sentido, os autores propõem a análise do módulo de elasticidade através do intervalo

de confiança. Uma vez que, tanto para o GC-I quanto para o GC-II, o módulo de elasticidade se comporta como uma distribuição de probabilidades gaussianas, é possível estabelecer um intervalo de confiança de 99 % em ambos os casos. Nesse sentido, admite-se que o módulo de elasticidade está contido em um intervalo, em torno da média, com 99 % de certeza, ao invés de se considerar a Eq. (1).

5 CONCLUSÕES

Este trabalho realizou um estudo probabilístico para o módulo de elasticidade do concreto. Motivados pela relação determinística explicitada na ABNT NBR 6118:2014 [3] para o módulo de elasticidade para o concreto, realizou-se um estudo probabilístico para este parâmetro. Foram realizados ensaios laboratoriais para o módulo de elasticidade para dois grupos de controle: o GC-I, que incluiu corpos-de-prova moldados com agregados graúdos e miúdos naturais, chamado também de concreto convencional, para um f_{ck} de 40 MPa. O outro grupo de controle, chamado de GC-II, incluiu corpos-de-prova moldados com agregados graúdos e miúdos artificiais, beneficiados em uma pedreira, com as mesmas especificações dos agregados graúdos e miúdos do GC-I, para um f_{ck} de 30 MPa.

Foram submetidos ao ensaio de módulo de elasticidade estático 30 corpos-de-prova do GC-I e 17 corpos-de-prova do GC-II, sendo excluídos, por valores espúrios, um corpo-de-prova de cada grupo de controle.

A partir dos valores obtidos para o módulo de elasticidade em cada grupo de controle, foi possível observar que, em ambos os casos, os valores não foram idênticos ao valor esperado, determinístico, previsto pela ABNT NBR 6118:2014 [3], uma vez que o valor indicado na norma se aplica à corpos-de-prova que não podem ser submetidos ao ensaio para o módulo de elasticidade. No entanto tal fato conduziu os autores a refletirem sobre outros métodos de cálculo para o módulo de elasticidade, de forma a incorporar o caráter probabilístico que este parâmetro possui em função da distribuição dos agregados graúdos e miúdos, os índices de vazios e da relação água/cimento em cada caso (diretamente relacionada com a inclusão de aditivos nos traços). Cabe destacar que a referida fórmula determinística inclui o valor do f_{ck} obtido experimentalmente e este pode ser calculado do ponto de vista probabilístico, sem a necessidade de se incluir o valor referencial de apenas um ensaio.

Outro aspecto relevante desta análise refere-se ao fato de que, tanto para o GC-I quanto para GC-II, os dados obtidos para o módulo de elasticidade se comportam como uma distribuição gaussiana de probabilidades, comprovada através do teste de Kolmogorov-Smirnov. Sendo assim, foi possível estimar, com 99 % de certeza, um intervalo de valores para o módulo de elasticidade, centralizado na média e considerando-se o desvio padrão na obtenção dos extremos inferior e superior para o intervalo.

Diante do estudo realizado, os autores propõem a utilização de parâmetros probabilísticos para o cálculo do módulo de elasticidade, independente da utilização, no traço, de agregados naturais ou artificiais. Acredita-se que incorporando valores para o módulo de elasticidade em um intervalo de confiança, além do valor determinístico obtido pela ABNT NBR 6118:2014 [3] para este, seja possível caracterizar, de forma mais realística, este parâmetro. Tal fato contribui, sobretudo, para traços de concreto que não serão submetidos aos ensaios de módulo de elasticidade previstos pela ABNT NBR 8522:2017 [5].

Agradecimentos

Os autores agradecem à universidade que sediou a pesquisa, no fornecimento de material e pela utilização do laboratório de engenharia civil para a realização dos ensaios pertinentes ao estudo.

Agradecem, também, ao CNPq pela bolsa fornecida a um dos estudantes de iniciação científica envolvidos na pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] Agência de Notícias do IBGE. *PIB varia 0,4% no 2º trimestre de 2019*. Disponível em <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25298-pib-varia-0-4-no-2-trimestre-de-2019>>. Acessado em setembro de 2019.
- [2] Associação Brasileira de Normas Técnicas. *ABNT NBR NM 52:2009 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2009.
- [3] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *ABNT NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de concreto – Procedimento*. ABNT/CB-002 Construção Civil, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2014.
- [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *ABNT NBR 5738:2016 – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2016.
- [5] Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *ABNT NBR 8522:2017 – Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão*. ABNT/CB-018 Cimento, Concreto e Agregados, Rio de Janeiro – RJ, Brasil, 2017.
- [6] Brasileiro, L. L. e Matos, J. M. E. Revisão Bibliográfica: reutilização de resíduos da construção e demolição na indústria de construção civil. *Cerâmica*, 61(358):178–189, 2015.
- [7] Diógenes, H. J. F., Cossolino, L. C., Pereira, A. H. A., El Debs, M. K. e El Debs, A. L. H. de C. Determinação do módulo de elasticidade do concreto a partir da resposta acústica. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, 4(5):792–813, 2011.
- [8] Estolano, V., Fucale, S., Vieira Filho, J. O., Gabriel, D. e Alencar, Y. Avaliação dos módulos de elasticidade estático e dinâmico de concretos produzidos com agregados reciclados oriundos de resíduos de pré-fabricados de concreto. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23(1), e–11974, 2018.
- [9] Pacheco, J., Bilesky, P.; Moraes, T. R., Grando, F. e Helene, P. Considerações sobre o módulo de elasticidade do concreto. In *Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto*. Natal – RN, Brasil, 2014. Disponível em <<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/06/269.pdf>>. Acessado em agosto de 2019.
- [10] Torman, V. B. L., Coster, R. e Riboldi, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. *Revista HCPA*, 32(2):227–234, 2012.